



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

MANEJO DE BASURA ELÉCTRICA EN MÉXICO
BIFENILOS POLICLORADOS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL

P R E S E N T A N

CARLOS ALBERTO CANSECO LÓPEZ

LUIS ANGEL NOGUEZ PEDROZA

ASESORA: DRA. RINA AGUIRRE SALDIVAR

MÉXICO, 2010.







Agradecemos:

A la Dra. Rina Aguirre Saldivar por su tiempo, disposición y paciencia, y aún cuando se “empanteraba” nos ayudó a traducir al español nuestro trabajo; su apoyo para conseguir las invitaciones al Taller Internacional sobre BPC; por facilitarnos contactos profesionales y expertos en el tema que ayudaron a la comprensión y elaboración de nuestra tesis. Gracias por ser tan chida.

Al M. en I. Eugenio López y Ortega, por sus consejos atinados en el tema correspondiente a sistemas y por las pláticas diversas sostenidas en el Instituto de Ingeniería.

Al Ing. Adolfo Velasco Reyes, por compartir su experiencia profesional y personal, y por animarnos a seguir adelante en la elaboración de un trabajo que puede beneficiar al país.

A la M. en I. Susana Téllez Ballesteros, por su accesibilidad y por ampliar nuestro panorama de la Ingeniería Industrial y la planeación, factores vitales en nuestra formación.

A la M. en I. Silvina Hernández García, por acercarse a los alumnos y fortalecer el vínculo Profesor/Administrador – alumno.

A la M. en I. Itzchel Nieto, por el apoyo brindado durante la realización de este trabajo, aunque no sabemos de química.

A la gente de SEMARNAT, por la colaboración y el buen trato recibido de su parte.

A Google©, nuestra mayor herramienta de acceso a la información, sin la cual la elaboración de este trabajo hubiera sido mucho más difícil.

A todos nuestros profesores, a cuyas cátedras tuvimos la fortuna de asistir; nos han permitido formarnos como ingenieros.

A los compañeros con quienes tuvimos la fortuna de compartir aulas.

A todos los vendedores de tacos de canasta de Ciudad Universitaria.

A la mejor facultad de Ciudad Universitaria, la Facultad de Ingeniería.

Y especialmente a la máxima casa de estudios de este país, nuestra Universidad Nacional Autónoma de México.



A mi familia

Canseco

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por que estudiar en sus instalaciones es una experiencia única.

A mis compañeros por las 'cascaritas', parte fundamental en mi formación.

A la música, porque sin ella, la vida sería tan aburrida.

A mis amigos, por estar siempre ahí para mí, por las pláticas casi interminables y los recuerdos inolvidables.

A mi familia, por su invaluable compañía, por el apoyo moral y económico que incondicionalmente me brindaron, por las reuniones, las comidas, las vacaciones, los valores inculcados y la educación brindada.

Y al más importante de todos, a mi Señor Jesucristo, por amarme, perdonarme y enseñarme que vale la pena seguir adelante...en Su Verdad.

Noguez



“Ustedes me dicen, entonces, que tengo que perecer como también las flores que cultive perecerán. De mi nombre nada quedara. Pero los jardines que plante, son jóvenes y crecerán... Las canciones que cante, ¡cantándose seguirán!”

Huexotzincatzin

Hay hombres que luchan un día y son buenos. Hay otros que luchan un año y son mejores. Hay quienes luchan muchos años y son muy buenos. Pero hay los que luchan toda la vida: esos son los imprescindibles

Bertolt Brecht

No temas, que Yo soy contigo; no desmayes, que Yo Jehová soy tu Dios que te esfuerzo: siempre te ayudaré, siempre te sustentaré con la diestra de mi justicia.

Isaías 41:10





Manejo Integral de basura eléctrica en México: Bifenilos policlorados

PREFACIO	13
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes	15
1.1.1 Convenios internacionales	15
1.1.2 Accidentes	16
1.2 Objetivo	17
1.3 Alcances y limitaciones	17
2. RESIDUOS PELIGROSOS	
2.1 Definiciones	18
2.1.1 Riesgos a la salud	20
2.1.2 Riesgos ambientales	23
2.2 Sistema de Manejo de Residuos Peligrosos	25
2.2.1 Generación	25
2.2.2 Transporte y acopio	26
2.2.3 Tratamiento y disposición final	27
2.3 Marco legal	28
2.3.1 Leyes	28
2.3.2 Reglamentos	29
2.3.3 Normas	29
3. BIFENILOS POLICLORADOS	
3.1 Características	32
3.2 Usos y aplicaciones	32
3.3 Efectos	33
3.3.1 Riesgos a la salud	33
3.3.2 Riesgos ambientales	34
3.3.3 Impacto social	35
3.4 Manejo integral	36
3.4.1 Generación	36
3.4.2 Transporte	38
3.4.3 Almacenamiento	38
3.4.4 Tratamientos	39
3.4.4.1 Reciclaje	39
3.4.4.2 Tratamientos químicos	40
3.4.4.3 Incineración	40
3.5 Legislación	41
3.5.1 Panorama internacional	42
3.5.2 Panorama nacional	43
3.5.2.1 Normatividad	44



4. SISTEMAS	
4.1 Definiciones	46
4.2 Sistemas de transporte	48
4.2.1 Transporte terrestre	49
4.2.2 Transporte marítimo	50
4.3 Transporte de residuos peligrosos	51
4.3.1 Contenedores	51
4.4 Logística	52
5. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS BPC EN MÉXICO	
5.1 Inventarios	54
5.1.1 Poseedores paraestatales	56
5.1.2 Poseedores privados	56
5.2 Transporte y acopio	57
5.3 Eliminación	58
5.3.1 Disposiciones generales	58
5.3.2 Tecnologías de tratamiento y eliminación	59
5.3.3 Exportación	61
6. PROPUESTA	
6.1. Rutas de eliminación	65
6.1.1 Rutas de acarreo	67
6.1.2 Rutas de tratamiento	85
6.2 Costo-beneficio	88
6.2.1 Costos directos	88
6.2.2 Costos ambientales	89
6.2.3 Costo social	89
6.2.4 Costo político	90
6.3 Incentivos económicos	90
6.4 Beneficios	90
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
ANEXOS	
Anexo 1. Normatividad	94
Anexo 2. Hoja de seguridad de BPC	98
Anexo 3. Lista de contactos	103
GLOSARIO	106
MESOGRAFÍA	107
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	113







PREFACIO

El riesgo inherente al manejo de residuos peligrosos es alto, y lo es más si este manejo es inadecuado. Es por esto que el presente trabajo pretende proveer una visión amplia y detallada de la gestión adecuada de sustancias peligrosas, en específico de la familia denominada bifenilos policlorados (BPC), los cuales se encuentran catalogados dentro de las 20 sustancias más tóxicas hasta ahora conocidas.

Se explicará lo más claramente posible qué son, para qué se usaron y la legislación mundial que los rige desde que se descubrió su alta peligrosidad. Haciendo referencia también al marco jurídico nacional, se describen las responsabilidades de los entes que poseen dichas sustancias y las obligaciones correspondientes.

Parte fundamental del trabajo fue el empleo de herramientas de la ingeniería de sistemas como son la teoría de redes y el enfoque sistémico, para entender de mejor manera la problemática de estos residuos.

En el capítulo 6, donde se presenta la propuesta, se tomó como base el inventario nacional oficial presentado en el Taller Internacional de Sistemas de Gestión y Tecnologías de Destrucción de BPC, llevado a cabo en diciembre de 2009 por parte de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

La presentación del Taller Internacional resultó de gran ayuda para el desarrollo del trabajo dado que se habían solicitado, a la propia SEMARNAT, los datos del inventario nacional en dos ocasiones, pero no hubo respuesta satisfactoria, posiblemente por la carga de trabajo de la dependencia y el propio sistema de acceso a la información.

A pesar de los retos que surgieron, se espera que el trabajo sea claro, conciso y resulte de utilidad, y se invita cordialmente a su lectura.





CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Los bifenilos policlorados, BPC, son una familia de sustancias altamente tóxicas que se encuentran en un proceso de eliminación del planeta desde la década de los 70, cuando se identificaron sus propiedades tóxicas y los daños ambientales que implican.

Existen acuerdos internacionales que versan sobre el manejo adecuado, el intercambio comercial de tecnologías de eliminación y el movimiento transfronterizo de los materiales y residuos peligrosos, así como un listado que contiene las sustancias conocidas como COP (compuestos orgánicos persistentes). Los bifenilos policlorados están contemplados en ellos.

1.1.1 Convenios internacionales

El 22 de marzo de 1989 se firma el Convenio de Basilea, cuyo objetivo primordial es ejercer control sobre el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos y su eliminación.

Dentro de los identificadores descritos en los anexos de dicho convenio, los bifenilos policlorados poseen los siguientes: Y10, que es específico de compuestos orgánicos cíclicos halogenados; H6.1 y H11, que se refieren a la toxicidad de la sustancia; H12, de sustancias que provocan efectos nocivos al ambiente; y H13, de sustancias que después de su eliminación, originan otras sustancias con características también descritas en los mismos anexos; además de definirse claramente como peligrosos cuando poseen una concentración mayor a 50 mg/kg, con los identificadores A1180 y A3180.

También se identifican con el número A4110 a las dioxinas y furanos sustancias altamente tóxicas generadas a partir de una mala combustión de BPC.

El Convenio de Basilea entró en vigor el 5 de mayo de 1992, y contaba ya con 130 participantes en julio de 1999.

De manera similar, el Convenio de Rotterdam se aplica a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional, firmado por los participantes hasta 1999. En este convenio se identifica a los BPC como sustancias de uso industrial con el número 1336-36-3.

Por último, el Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes (COP), tiene como objetivo proteger la salud humana de los efectos nocivos que tales contaminantes producen. Éste documento, firmado el 22 de mayo de 2002 por el último participante, define los COP como sustancias resistentes a la degradación, bioacumulables y que son susceptibles de ser transportadas por el aire, el agua y las especies migratorias a



través de las fronteras internacionales y depositadas lejos del lugar de su liberación, acumulándose en ecosistemas terrestres y acuáticos. En la Parte II Anexo A (eliminación) de dicho documento se observa la inclusión de los BPC, además de que la Parte II versa únicamente sobre ellos. Este convenio es el que hace mayor énfasis en el cuidado de la salud y el ambiente.

En el anexo C del Convenio se maneja la producción no intencional de dioxinas y furanos al quemar los BPC, los cuales generan un riesgo aún mayor al de los BPC para los seres vivos y el entorno.

También dentro de los anexos del Convenio se mencionan la implementación de las mejores técnicas disponibles, incorporar prácticas ambientales convenientes, la evaluación del riesgo por el manejo y la descripción del perfil socioeconómico de los poseedores de algún COP.

Todos los convenios concuerdan en la necesidad de acceso a información clara y precisa a la población y en especial a los poseedores de residuos peligrosos para realizar una gestión adecuada. Se menciona la necesidad de destinar apoyos financieros y técnicos por organismos internacionales y dependencias nacionales, todo persiguiendo un segundo objetivo: la formación del público en general sobre las acciones tomadas y el riesgo natural que representan estos contaminantes.

Actualmente, México exporta, vía marítima, BPC a Europa para su tratamiento, lo que implica un gran riesgo ambiental. Aunado a esto, no se cumplió con la fecha de eliminación total (31 de diciembre de 2008) prevista en la normatividad mexicana, por lo que se han fijado nuevas fechas en las ratificaciones del Convenio de Estocolmo, teniendo como límites 2025 para la desincorporación de equipos en operación que contengan BPC, y 2028 para eliminar los BPC por completo.

1.1.2 Accidentes

Lamentablemente se han suscitado accidentes asociados con los BPC; uno muy alarmante ocurrido en Bélgica se describe en el capítulo tres de este trabajo. México no es la excepción y como ejemplo se tiene el caso de abandono de BPC en puertos comerciales mexicanos, específicamente el ocurrido en el año 2002 por la empresa Ecolab que contaba con 14 contenedores aproximadamente 500 toneladas de BPC propiedad de Comisión Federal de electricidad CFE, Luz y Fuerza del Centro LyFC y Petróleos Mexicanos PEMEX, en Altamira, Tampico, Tamaulipas y Veracruz etiquetados solamente como “material eléctrico de exportación” (Bejarano, 2009).

Otro grave problema presentado en el país fue la quema indiscriminada de aceites contaminados con BPC, como combustibles para la fabricación de ladrillos, caso concreto el de San Nicolás, ubicado en el municipio de Tequisquiapan, Querétaro, donde se utilizan estas



sustancias en la elaboración de ladrillos generando problemas sanitarios graves para los 4 mil habitantes de la población (Bejarano, 2009).

Problemas como estos se han presentado, y peor aún, se siguen presentado como consecuencia de la falta de información acerca de la peligrosidad de los BPC. Por ello, este trabajo pretende dar una solución de raíz al problema: la gestión inadecuada de los BPC, en especial el sistema de transporte que se tiene en la actualidad, donde la exportación es altamente socorrida por los generadores, ocasionando problemas en los puertos comerciales y un gran riesgo ambiental durante su traslado al continente europeo a través del Océano Atlántico.

1.2 Objetivo

Revisar la situación del manejo de equipos eléctricos que contienen bifenilos policlorados en México, para proponer un plan nacional de eliminación eficiente, que contemple el transporte de los equipos y sus residuos a los centros de tratamiento más cercanos para de esta manera aprovechar la infraestructura existente y disminuir el riesgo de traslado de estas peligrosas sustancias.

1.3 Alcances y limitaciones

El trabajo, aunque ambicioso, enfrentó retos importantes durante su planeación y elaboración, como es el acceso a la información. Por ello, conviene definir claramente los alcances y limitaciones del mismo para evitar generar una expectativa mayor que los resultados obtenidos.

- Utilización de los datos de poseedores reportados en el inventario oficial de SEMARNAT
- Sólo se considerarán generadores registrados en inventario como son empresas paraestatales e industrias privadas
- La escala empleada en el trabajo es nacional
- No se dará continuidad al trabajo, sólo se presentará la propuesta esperando que sea aceptada y se siga en próximos trabajos
- Se desconocen la ubicación, cantidades y características exactas de los residuos y equipos que contienen BPC, por lo que las cantidades reportadas se situaron en ciudades con alta concentración poblacional e industrial.

Aclarando el panorama del trabajo y definiendo que es lo que se pretende, se inicia el desarrollo del mismo explicando qué son los residuos peligrosos, sus principales características y otros aspectos relevantes.



CAPÍTULO 2. RESIDUOS PELIGROSOS

En este capítulo se presentan los conceptos requeridos para comprender el contexto de los residuos peligrosos, sus características principales y los efectos que pueden tener sobre el ser humano y el ambiente, así como sus fuentes de generación, medios de transporte y formas de disposición final. Al final del capítulo se menciona la normatividad vigente que rige a estos residuos en México.

2.1 Definiciones

En las leyes y normas nacionales en materia de residuos peligrosos se encuentran las siguientes definiciones:

Residuo. Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven (SEMARNAT, 2003a).

Residuos peligrosos. Son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran *peligrosidad* (ver definiciones más adelante), así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados, de conformidad con lo que se establece en esta Ley (SEMARNAT, 2003a); para que un residuo sea considerado peligroso debe presentar al menos una de estas características (apartados 7.2 a 7.7 de la NOM-052-SEMARNAT-2005).

CRETIB. Es el acrónimo de las características que identifican a los residuos peligrosos: Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable, Biológico infeccioso. En la figura 2.1 se aprecia la simbología utilizada para identificar estas propiedades y a continuación se enlistan las características que las definen:



Figura 2.1. Clasificación CRETIB

Corrosivo: Cuando una muestra representativa presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

- Es un líquido acuoso con $\text{pH} \leq 2.0$ o ≥ 12.5
- Es un sólido que cuando se mezcla con agua destilada presenta un $\text{pH} \leq 2.0$ o ≥ 12.5



- Es un líquido no acuoso capaz de corroer el acero al carbón, tipo SAE 1020, a una velocidad de 6.35 mm o más por año a una temperatura de 328 K (55°C).

Reactivo: Cuando una muestra representativa presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

- Líquido o sólido que después de ponerse en contacto con el aire se inflama en un tiempo menor a cinco minutos, sin que exista una fuente externa de ignición
- Se pone en contacto con agua y reacciona espontáneamente y genera gases inflamables en una cantidad mayor de 1 litro por kilogramo del residuo por hora
- Residuo que en contacto con el aire y sin una fuente de energía suplementaria genera calor
- Posee en su constitución cianuros o sulfuros liberables y cuando se expone a condiciones ácidas genera gases en cantidades mayores a 250 mg de ácido cianhídrico por kg de residuo o 500 mg de ácido sulfhídrico por kg de residuo.

Explosivo: Capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva solo o en presencia de una fuente de energía o cuando es calentado bajo confinamiento.

Tóxico: Se considera tóxico si el resultado de la prueba de extracción (extracto PECT), obtenido mediante el procedimiento establecido en la NOM-053-SEMARNAT-1993, contiene cualquiera de los constituyentes tóxicos listados en la tabla 2 de esa norma en una concentración mayor a los límites ahí señalados.

Inflamable: Cuando una muestra representativa presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

- Es un líquido o una mezcla de líquidos que contienen sólidos en solución o suspensión que tiene un punto de inflamación inferior a 60.5°C, medido en copa cerrada, quedando excluidas las soluciones acuosas que contengan un porcentaje de alcohol, en volumen, menor a 24%
- No es líquido, pero es capaz de provocar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos a 25°C
- Es un gas que, a 20°C y una presión de 101.3 kPa, arde cuando se encuentra en una mezcla del 13% o menos por volumen de aire, o tiene un rango de inflamabilidad con aire del 12% sin importar el límite inferior de inflamabilidad
- Es un gas oxidante que puede causar o contribuir, más que el aire, a la combustión de otro material.

Biológico infeccioso: Contiene cualquier microorganismo capaz de producir enfermedades cuando está presente en concentraciones suficientes (inóculo), en un ambiente propicio (supervivencia), en un huésped susceptible y en presencia de una vía de entrada.

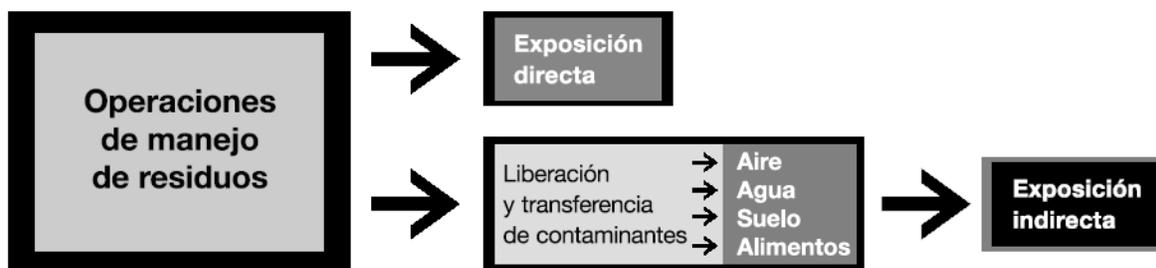
Riesgo. El riesgo asociado a un residuo peligroso se refiere a la probabilidad de que se produzcan efectos adversos en función de la *exposición* directa a los residuos o a la



contaminación generada por las actividades de manejo de los mismos. Por lo tanto el nivel de riesgo será una función de la *peligrosidad* del residuo; según el tipo, magnitud y duración de la exposición, de su difusión en el ambiente o de la magnitud de los siniestros que pueda ocasionar (Martínez et al, 2005).

Peligro. Se refiere a toda propiedad física, química o biológica del residuo que le confiere la capacidad de provocar efectos nocivos en los ecosistemas o la salud humana (Martínez et al, 2005). Al evaluar un *peligro* se cuantifica la potencia corrosiva, reactiva, explosiva, tóxica, inflamable o infecciosa de los residuos, en tanto que al evaluar los *riesgos* asociados se estima la probabilidad de que este residuo entre en contacto con el ser humano o el medio.

En cuanto al receptor, se debe tener en cuenta que no todos los individuos de una población o de un ecosistema son igualmente sensibles a un determinado peligro o a una forma de exposición por lo que es necesario, cuando se habla de riesgo, indicar el receptor al que está referido (Cortinas, 1993). La figura 2.2 muestra los dos tipos de exposición a residuos peligrosos que deben considerarse para evaluar el riesgo.



Fuente: Martínez, 2005

Figura 2.2. Tipos de exposición a residuos peligrosos

Los residuos peligrosos provocan daños al interactuar con seres vivos o el ambiente; particularmente, la salud del ser humano puede sufrir impactos considerables.

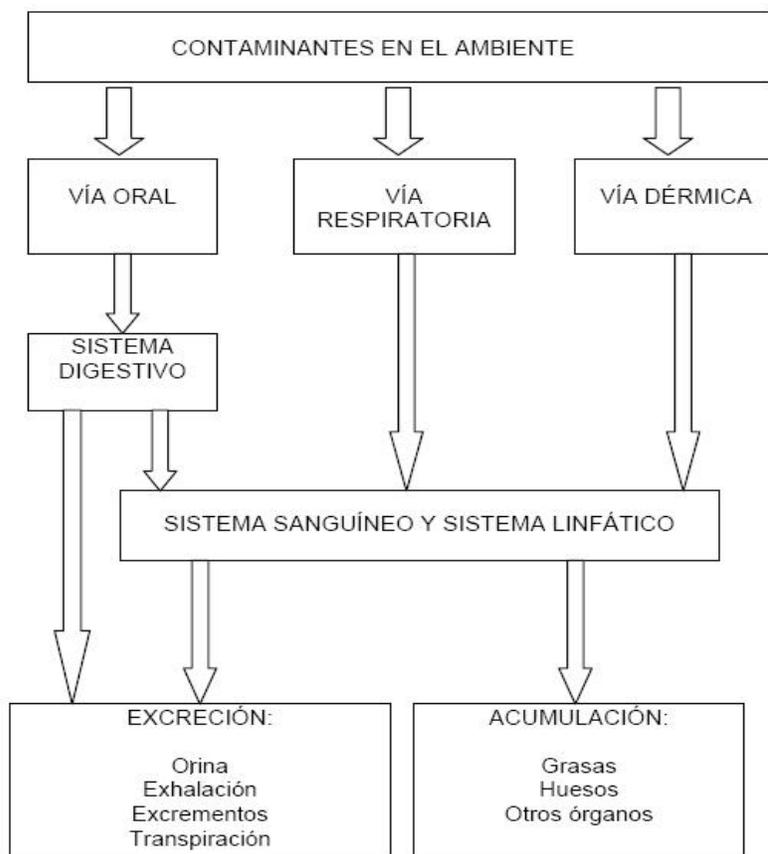
2.1.1 Riesgos a la salud

Cuando el ser humano tiene contacto con un residuo peligroso y éste ingresa al organismo puede generar una respuesta tóxica que se manifiesta fisiológicamente de muchas formas, dependiendo de la naturaleza química del compuesto, de la ruta de ingestión, del tiempo de exposición, de la dosis efectiva, de las características propias del individuo y de los órganos afectados.

El ingreso de un contaminante al cuerpo humano es seguido por un conjunto de procesos altamente complejos: el contaminante se absorbe, se distribuye, se almacena, se degrada o se elimina. Para producir algún efecto adverso, el agente químico o alguno de sus productos de transformación, debe alcanzar un órgano con un nivel de concentración y un tiempo de exposición determinado. Los principales órganos y tejidos donde se almacenan y transportan



los agentes tóxicos son los tejidos grasos, la sangre, los huesos y los riñones (Zaror, 2000). En la figura 2.3 se muestran las diferentes formas de ingreso, rutas y destinos dentro del cuerpo humano.



Fuente: Zaror, 2000.

Figura 2.3. Ingreso y movimiento de sustancias dentro del cuerpo humano

Una vez dentro del cuerpo, los contaminantes pueden afectar el funcionamiento de los distintos órganos y sistemas con los que interactúan (Cortinas, 1993). Estos son:

Aparato respiratorio. Ácidos, bases y agentes corrosivos o altamente reactivos (amoníaco, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y cloro) provocan quemaduras y dan lugar a edemas pulmonares si la exposición es muy alta (aguda). Exposiciones continuas a bajas concentraciones producen irritación de las vías aéreas y favorecen la aparición de infecciones como bronquitis o enfisema pulmonar. La exposición a fibras como el asbesto provoca procesos de cicatrización pulmonar y, como consecuencia, fibrosis pulmonar.

Sistema cardiovascular. Sustancias como el disulfuro de carbono y el plomo facilitan la aparición de depósitos de colesterol en los vasos sanguíneos pequeños, lo que dificulta la circulación sanguínea y aumenta el riesgo de sufrir ataques cardíacos.



Sangre. El monóxido de carbono, las anilinas, el tolueno, el benceno, el cloruro de vinilo, el cloruro de metilo, la arsina y el plomo, interfieren con la habilidad de la hemoglobina para fijar y liberar oxígeno, dañan la membrana de los glóbulos rojos con la consecuente liberación de hemoglobina, pudiendo causar daño renal. De acuerdo con el tipo de exposición, puede producirse anemia aguda o crónica y en algunos casos, como ocurre con la exposición al benceno, leucemia.

Hígado. El tetracloruro de carbono, el tetracloroetano y otros derivados halogenados como los bifenilos policlorados; además de elementos como el antimonio, el berilio, el cadmio, el manganeso, el selenio; hidrocarburos como el dioxano, el fenol, el naftaleno, el dimetil sulfato, la hidracina y el nitrobenzono, ocasionan daño hepático y pueden ser causa de hepatitis o de fibrosis hepática (cirrosis).

Riñones. El bloqueo de la circulación o del transporte de oxígeno al riñón puede dar lugar a afecciones renales agudas, como ocurre tras la exposición a agentes como el disulfuro de carbono y el plomo. Sustancias tales como el mercurio, el cromo, el arsénico, el ácido oxálico y el etilenglicol también dañan los tubos renales.

Sistema nervioso. Los acetatos, alcoholes, éteres, cetonas y derivados bromados provocan alteraciones en el sistema nervioso, en tanto que gases asfixiantes y el monóxido de carbono dañan al cerebro por privación de oxígeno. También los plaguicidas, los plastificantes, el mercurio, el plomo, el manganeso y el arsénico afectan la función nerviosa.

Piel. Un gran número de sustancias están consideradas como irritantes dérmicos primarios. Entre ellas están: ácidos y bases fuertes, algunas sales metálicas o metales simples y diversos compuestos orgánicos que pueden penetrar las barreras externas de la piel y dañar las capas internas. Otras sustancias son capaces de provocar reacciones alérgicas descritas como dermatitis de contacto, entre ellas están los dicromatos, las resinas epóxicas, los aceleradores de caucho, el hexaclorofenol, el biotinol, las salicilamidas y la formalina. Algunas sustancias contenidas en los combustibles fósiles y los aceites vegetales pueden llegar a ocasionar cáncer de piel.

Aparato reproductivo. La impotencia, la esterilidad, la pérdida fetal, la muerte perinatal y algunos defectos congénitos pueden asociarse con la exposición a diversos agentes químicos. Sustancias como el cloruro de vinilo; plaguicidas como el DDT, el aldrín y el malatión, los bifenilos policlorados; el cloropreno, la epiclorhidrina, el benceno y el plomo han sido asociados con enfermedades o afecciones similares.

La toxicidad de los residuos peligrosos puede resumirse como:

Carcinogénesis. Estudios epidemiológicos han permitido identificar cerca de treinta agentes capaces de inducir cáncer, de los cuales veinte se han detectado en el ambiente laboral, entre ellos: aminas, arsénico, asbesto, bicloro-metil-éter, benceno, cadmio, cromo, isopropilos, gas mostaza, níquel, cloruro de vinilo, radiaciones ionizantes, luz ultravioleta e



hidrocarburos policíclicos aromáticos como los bifenilos policlorados. Estudios experimentales en animales indican que más de 700 compuestos químicos son carcinógenos potenciales.

Teratogénesis. Del griego *teratos*, monstruo; sustancias como el dietilmercurio, la talidomida, el dietilestilbestrol y los bifenilos policlorados, que por inhalación, ingestión o penetración cutánea, producen alteraciones en el feto durante su desarrollo intrauterino causando malformaciones.

Mutagenicidad. Diversas sustancias como el bromuro de etidio, el yoduro y el fluoruro de cadmio, la hidracina y el níquel tetracarbonilo, han mostrado tener capacidad de interactuar con el material genético de las células, provocando mutaciones que pueden favorecer el desarrollo de cáncer, padecimientos hereditarios y probablemente envejecimiento prematuro.

Dentro del universo de residuos peligrosos que se tienen identificados, los bifenilos policlorados juegan un papel importante, causando afecciones severas en el ser humano. En el capítulo 3 se profundizará en los efectos que tienen estas sustancias en el cuerpo humano y en el medio.

Un aspecto que se debe considerar durante la generación de residuos peligrosos, es que nuestro planeta es un *espacio cerrado con dimensiones fijas y capacidades limitadas de asimilación y degradación*, de manera que todos los contaminantes y desechos que se vierten al ambiente permanecerán de una u otra forma en él. Desde el momento en que los residuos peligrosos son generados, interaccionan con los distintos elementos que forman el ambiente, tanto bióticos como abióticos, lo que ocasiona efectos ecotóxicos.

2.1.2 Riesgos ambientales

Los residuos peligrosos o sus constituyentes pueden disolverse en agua, penetrar y migrar a través de los suelos y alcanzar los mantos freáticos; pero también pueden contaminar las aguas superficiales o transferirse a lo largo de la cadena alimenticia. Pueden movilizarse por el aire y causar daños por inhalación o absorción dérmica. La vulnerabilidad de los ecosistemas varía de acuerdo con sus características y es necesario tomar en consideración si se trata de zonas áridas, templadas, tropicales secas o húmedas, pues cada una de ellas será afectada por el contaminante de distinta manera.

Son especialmente dañinas las sustancias que son generadas por las actividades productivas y poseen propiedades de alta *toxicidad, persistencia ambiental o bioacumulación*.

Persistencia ambiental. Es la tendencia de una sustancia a permanecer en el ambiente debido a su resistencia a la degradación química o biológica asociada con los procesos naturales. Los residuos peligrosos con una vida media corta, por lo general no producen una

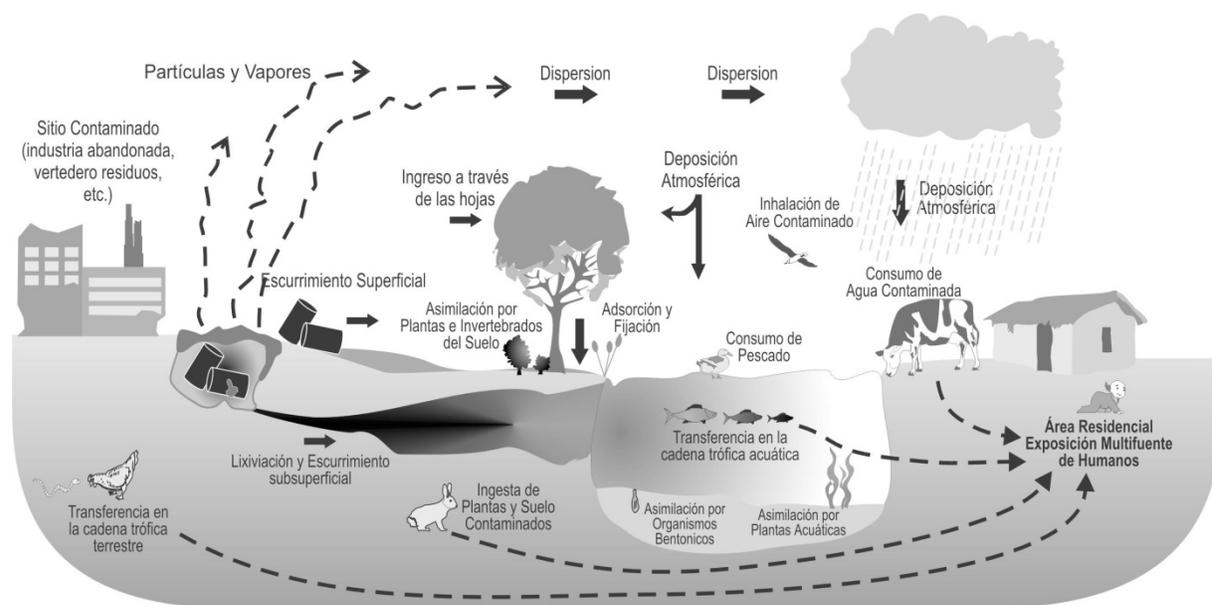


acumulación significativa en el ambiente; en cambio, un residuo con una vida media mayor puede resultar en una exposición o acumulación sustancial en la cadena alimenticia (biomagnificación). Algunos compuestos organoclorados como los bifenilos policlorados, y metales pesados como el plomo, el cadmio y el mercurio, son ejemplos típicos de contaminantes con elevada persistencia ambiental (Ruiz et al, 2001).

Muchos de los problemas de contaminación ocurren por fugas, derrames y disposición de líquidos orgánicos inmiscibles en cuerpos de agua, los cuales se describen como fases líquidas no acuosas. Estos fluidos inmiscibles pueden clasificarse en dos categorías: aquellos cuya densidad es mayor que la del agua (solventes de percloroetileno y tricloroetileno, sustancias como creosota, bifenilos policlorados, y algunos plaguicidas); y aquellos más ligeros que el agua (benceno, tolueno, etilbenceno, xileno, etc.).

Los lugares con agua subterránea que se localizan cerca de áreas industrializadas densamente pobladas, tienen una mayor probabilidad de resultar contaminados y de generar daños al medio y a sus habitantes.

En general se estima que la mayoría de los contaminantes se encuentran en forma líquida y que migran en fase acuosa interactuando a su paso con las partículas del suelo (Martínez, 2005). Es necesario considerar que, para algunos compuestos volátiles, la migración en forma de vapor es igual o más importante que el desplazamiento en forma líquida. Además, existen desechos en estado sólido que al descomponerse, o infiltrarse el agua de lluvia a través de ellos, producen lixiviados. En la figura 2.4 se muestran las rutas por las cuales los residuos peligrosos se mueven a través del ambiente, y se puede apreciar la probabilidad de interacción con los seres vivos, incluido el ser humano.



Fuente: Martínez, 2005.

Figura 2.4. Movimiento de residuos peligrosos en el ambiente



Otros riesgos que representa el inadecuado manejo de los residuos peligrosos son incendios, explosiones, fugas y derrames. Estos riesgos se presentan principalmente durante las operaciones de almacenamiento, con residuos incompatibles o en envases inadecuados; transporte o transferencia; y procesos de tratamiento, ya sean físicos o químicos. La falta de capacitación del personal encargado del manejo de los residuos peligrosos es un factor determinante en la prevención de accidentes.

2.2 Sistema de manejo de residuos peligrosos

Dadas las características de los residuos peligrosos, se debe poner especial atención durante su manejo. Es por eso que se analizará la ruta que siguen desde su generación, pasando por el almacenamiento, transporte y acopio hasta su tratamiento o disposición final.

2.2.1 Generación

La generación de residuos peligrosos se encuentra íntimamente ligada al desarrollo tecnológico e industrial de una región. En el presente trabajo se distinguen las tres categorías de generadores impuestas por la SEMARNAT en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR):

- *Grandes generadores:* Aquellos que tengan un registro anual de generación de al menos 10 ton.
- *Pequeños generadores:* Personas u organizaciones que tengan una generación de RP entre 0.4 y 10 ton.
- *Microgeneradores:* Aquellos cuya generación anual sea menor que 400 Kg.

Esta clasificación pretende estandarizar a los generadores mayoritarios del país que reportan la COA (Cedula de Operación Anual) a la SEMARNAT. Este reporte se integra a la base de datos denominada Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), que incluye, entre otros, los datos referentes al traslado de sustancias peligrosas de las empresas registradas en México. La tabla 2.1 muestra las obligaciones de las empresas con la SEMARNAT en materia de residuos peligrosos.

En la tabla 2.1 se menciona como obligación de los grandes generadores la elaboración de un *plan de manejo*; éste es un documento que contiene la forma en que la empresa se hace responsable de sus residuos, desde el momento que los genera, pasando por el transporte y acopio hasta el tratamiento o disposición final que aplique. El *plan de manejo* es sinónimo a lo que en este trabajo se ha llamado *sistema de manejo integral* del residuo.



Obligación	Gran generador (≥ 10 ton)	Pequeño generador (10 – 0.4 ton)	Microgenerador (<400 Kg)
Registro SEMARNAT-07-017	Si	Si	Si
Presentar a consideración <i>plan de manejo</i>	Si		
Contar con autorización de manejo	Si	Si	
Presentar informe anual (COA)	Si		
Contar con seguro ambiental	Si		
Sujetar sus residuos a un plan de manejo		Si	Si
Registro ante autoridades estatales o municipales (cuando existan convenios de descentralización)			Si
Traslado de residuos a centros de acopio autorizados			Si
Contratar el servicio con empresas autorizadas	Si	Si	Si
Aviso de inscripción como empresa generadora de residuos peligrosos: SEMARNAT-07-004-A	Si	Si	Si

Fuente: SEMARNAT, 2008.

Tabla 2.1. Obligaciones de generadores de residuos peligrosos de acuerdo a su categoría

2.2.2 Transporte y acopio

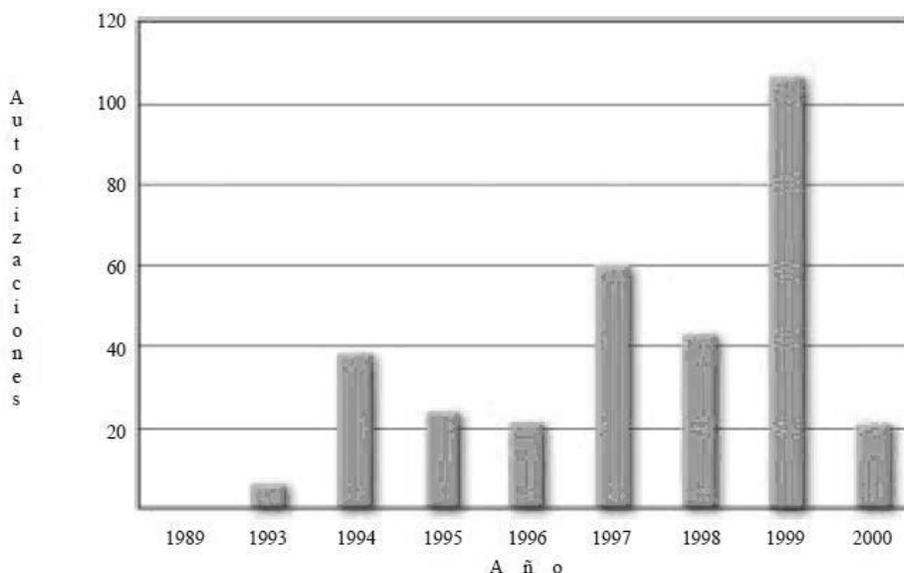
El transporte seguro de los RP es vital, pues si por alguna razón se suscita un accidente, éste representaría un grave peligro para el entorno. Es por ello que el transporte debe realizarse por empresas autorizadas por la SEMARNAT y la SCT; dicha autorización requiere una evaluación intensiva, revisando las características de los equipos y vehículos con los que cuenta la empresa que ofrece sus servicios.

La clasificación de transportadores de residuos peligrosos está bien definida en la normatividad mexicana y, teniendo en cuenta que no todos los transportadores pueden manejar el mismo tipo de residuos, se deben aclarar las especificaciones de manejo para cada residuo.

Al brindar el servicio de transporte la empresa se compromete a recibirlo, embalarlo y transportarlo adecuadamente hasta el sitio asignado de acuerdo con la bitácora de manejo de RP incluida en el contrato. En el anexo 1 se puede ver un condensado de la normatividad de la SCT para el transporte de RP y las principales características y requerimientos de las unidades y empresas prestadoras de estos servicios.

La figura 2.5 muestra el número de autorizaciones otorgadas anualmente a empresas prestadoras de servicios de transporte. Aún cuando en el año 2000 disminuyó el número de nuevas autorizaciones, la industria del manejo de RP está a la alza, sobre todo por el aumento en la presión del gobierno y de grupos no gubernamentales. Según el registro de SEMARNAT y su Dirección de Materiales y Actividades Riesgosas, para el 2008 se tenían 847 autorizaciones para el transporte de RP.





Fuente: INE, 2000.

Figura 2.5. Empresas de recolección y transporte de residuos industriales peligrosos autorizadas entre 1989 y 2000.

Existe una etapa intermedia en el manejo de residuos peligros, la cual se conoce como acopio, que es acumular RP compatibles en centros autorizados y con características particulares para tener un adecuado control sobre estos residuos. Las empresas dedicadas a brindar este servicio, también deben de contar con las autorizaciones correspondientes para poder operar.

2.2.3 Tratamiento y disposición final

Tratamiento es toda acción que se realiza para controlar la peligrosidad de un residuo y depende de residuo a manejar. Los hay tales como: incineración, encapsulamiento y disposición en sitios de confinamiento. Este tipo de servicios se brindan generalmente por empresas externas a los generadores; los servicios prestados por tales empresas se pueden englobar en dos grandes vertientes: de *manejo integral* o de *aprovechamiento*. Esto es:

- *Manejo integral*: Son las actividades de reducción en fuente, separación, reutilización, reciclaje, co-procesamiento; tratamiento biológico, químico, físico o térmico; acopio, almacenamiento, transporte y disposición final de residuos. Estas actividades son individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada, para adaptarse a las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social.

Ejemplo: Los hospitales generadores de residuos biológicos infecciosos deben contratar empresas que tengan la capacidad de transportarlos, acopiarlos y darles el



tratamiento térmico adecuado, conforme a la normatividad ambiental correspondiente.

- *Aprovechamiento*: Es el conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, remanufactura, rediseño, reciclado, recuperación de materiales secundados o de energía.

Ejemplo: Algunas industrias como la cementera y la vidriera, aprovechan los aceites usados en la industria automotriz para emplearlos como combustibles en sus procesos.

2.3. Marco legal

Este apartado engloba las leyes, reglamentos y normas, en ese orden, aplicables a RP, considerando desde las autorizaciones para su generación, las declaraciones anuales de los generadores, así como la legislación relacionada con la identificación, manejo, transporte, reciclaje, tratamientos y sitios de confinamiento final. En el anexo 1 se aprecia la relación existente entre las leyes, reglamentos y normas a nivel nacional.

2.3.1 Leyes

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos es el documento del cual emanar todas las leyes, reglamentos y normas que rigen las diferentes actividades del país. Tres de las leyes relacionadas con el sistema de manejo de residuos peligrosos son:

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR)

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

Ley del Registro Público Federal (LRPF).

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR). Su objetivo es hacer frente a la problemática de generación, disposición, prevención y gestión de los residuos en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos. Sus disposiciones tienen por objeto garantizar el derecho de toda persona a un ambiente adecuado, y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y los de manejo especial. Dice: *La Federación, las entidades federativas y los municipios ejercerán sus atribuciones en materia de prevención de la generación, aprovechamiento, gestión integral de los residuos, de prevención de la contaminación de sitios y su remediación, de conformidad con la distribución de competencias prevista en esta Ley y en otros ordenamientos legales.*

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). Se enfoca hacia la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección del ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción.



Esta ley trata diversos puntos relacionados con la preservación de la ecología, como son el garantizar la participación corresponsable de las personas, en forma individual o colectiva, en la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, y el establecimiento de mecanismos de coordinación, de control y de seguridad, entre el sector privado, público y el gobierno para garantizar el cumplimiento de la legislación ambiental nacional.

Ley del Registro Público Federal (LRPF). Esta ley regula lo relacionado a la operación, administración y funcionamiento de los vehículos que circulan por el territorio nacional, para fungir como instrumento jurídico y de seguridad para las personas que apliquen. Rige el control vehicular nacional de todos los medios de transporte terrestre, asigna números de identificación a motores, unidades y tipos de transportes. Establece condiciones especiales para el transporte de RP.

2.3.2 Reglamentos

Es un instrumento jurídico de carácter general dictado por el poder ejecutivo. Su rango en el orden jerárquico es inmediatamente inferior a la ley, y generalmente la desarrolla

Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Se encarga de reglamentar la LGPGIR y rige en todo el territorio nacional y las zonas donde la Nación ejerce su jurisdicción; su aplicación corresponde al Ejecutivo Federal.

Reglamento para el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos. Es materia de este reglamento el envase y embalaje; las características, especificaciones y equipamiento de los vehículos motrices y unidades de arrastre a utilizar; las condiciones de seguridad; tránsito en vías de jurisdicción federal; la responsabilidad; las obligaciones específicas; y las sanciones aplicables. No es materia de este Reglamento, el transporte terrestre de materiales peligrosos realizado por las fuerzas armadas mexicanas, el cual se regula por otras disposiciones normativas propias.

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC). Establece los mecanismos de reporte y control de transferencia de sustancias químicas que representan un riesgo ambiental para el país, este reglamento se enfoca sobre todo al RETC, el cual es una base de datos de los establecimientos obligados a reportar a la SEMARNAT -mediante la Cédula de Operación Anual (COA)- su comportamiento ambiental.

2.3.3 Normas

Es una regla u ordenación del comportamiento dictada por autoridad competente, cuyo incumplimiento trae aparejado una sanción.



Dadas las consecuencias de una potencial interacción entre RP, la población y los ecosistemas, su manejo debe normarse en todas sus etapas. La tabla 2.2 muestra las principales normas aplicables a los residuos peligrosos, tanto de la SEMARNAT como de la SCT (para una revisión más detallada de las normas, consultar el anexo 1).

Norma	Objetivo
NOM-002-SCT/2003	Listado materiales peligrosos
NOM-003-SCT/2000	Etiquetas
NOM-004-SCT/2000	Sistema de identificación de unidades de transporte
NOM-005-SCT2/1994	Emergencias en el transporte terrestre
NOM-007-SCT2/2002	Envases y embalajes
NOM-010-SCT2/2003	Compatibilidad y segregación
NOM-011-SCT2/2003	Condiciones para el transporte
NOM-023-SCT4-1995	Almacenamiento de mercancías peligrosas en puertos
NOM-024-SCT2/2002	Construcción y métodos de prueba de los envases
NOM-033-SCT4-1996	Ingreso de mercancías peligrosas a instalaciones portuarias
NOM-052-SEMARNAT-2005	Características, procedimiento de identificación, clasificación y listados de los residuos peligrosos
NOM-053-SEMARNAT-2005	Prueba de extracción para determinar un residuo peligroso
NOM-054-SEMARNAT-1993	Incompatibilidad entre dos o más residuos
NOM-055-SEMARNAT-2003	Sitios destinados a confinamiento controlado
NOM-056-SEMARNAT-2005	Diseño y construcción de obras complementarias
NOM-057-SEMARNAT-2005	Diseño y construcción celdas de confinamiento controlado
NOM-058-SEMARNAT-2005	Operación de un confinamiento controlado
NOM-098-SEMARNAT-2002	Incineración de residuos peligrosos
NOM-133-SEMARNAT-2000	Especificaciones de manejo de bifenilos policlorados (BPC),

Tabla 2.2. Normatividad en el manejo de RP

La última norma mostrada en la tabla 2.2 es exclusiva para los *bifenilos policlorados*. La fabricación de dichos compuestos fue prohibida a nivel internacional hace algunos años, pues estos provocan fuertes daños a la salud y al medio. En el siguiente capítulo se expondrán las propiedades de los bifenilos policlorados, así como las razones que llevaron a su prohibición, el impacto que pueden generar y la legislación específica aplicable a estas nocivas sustancias.



CAPÍTULO 3. BIFENILOS POLICLORADOS (BPC)

La producción de BPC para usos comerciales se inició en los Estados Unidos en 1929, por la empresa *Swann Chemical Company*, para responder a las necesidades de la industria de contar con un líquido refrigerante y aislante para sus transformadores y condensadores. Otros países fabricantes de BPC fueron Alemania, Canadá, Francia, España, Reino Unido, Italia, Japón y la antigua URSS (ver tabla 3.1). Se estima que la producción total de BPC en el mundo fue superior a 1.4 millones de toneladas (sin contar a la antigua URSS), siendo los EUA el principal productor: de 1929 a 1977 (fecha de prohibición en ese país) produjo más de 680,000 toneladas; Alemania produjo alrededor de 300,000 toneladas, antes de suspender su producción en 1983.

NOMBRE COMERCIAL	COMPAÑÍA MANUFACTURERA	PAÍS
Aceclor	Acec	Bélgica
Apirolio	Caffaro	Italia
Aroclor	Monsanto	EUA y Reino Unido.
Asbestol	American	EUA
*Askarel	-	EUA
Clophen	Bayer	Alemania
Clorinol o Clorinal	Sprage Electric Co.	EUA
Delor	Chemco	China
Diactor o Diachlor	Sangamo Electric	EUA
Dk	Caffaro	Italia
DP	Prodelec	Francia
Dycanol o Dikanol	CornellDubille	EUA
Elemex	McGraw Edison	EUA
Fenclor	Caffaro	Italia
Hyvol	Aerovox	EUA
Inclor	Caffaro	Italia
Inerteen	Westinghouse	Canadá y EUA
Kanechlor	Kanegafichi	Japón
Montar	-	EUA
No Flamol	Wagner Electric	EUA
Phenoclor	Prodelec	Francia
Pyralene	Prodelec	Francia
Pyranol	General Electric	Canadá y EUA
Pyroclor	P.R.Mallory	Europa
Saf-T-Kuhl	Kuhlmann Electric	EUA
Santotherm	Mitsubishi	Japón
Sovol, Sovtol, Soviol	Sovol	Rusia
Therminol	-	EUA

- Askarel es el termino con el que más comúnmente se conoce a los BPC

Fuente: SEMARNAT, 2007.

Tabla 3.1. Principales nombres comerciales, empresas y países fabricantes de BPC



En México, el consumo de BPC se inició durante la década de 1940 con la importación de grandes cantidades de equipo eléctrico, principalmente transformadores y capacitores. La mayor parte de los BPC introducidos al país fueron producidos en los EUA, aunque también se importaron de Europa y Japón (Cortinas, 2009a).

Los BPC eran considerados de gran utilidad para la industria, hasta que se comprobaron sus efectos dañinos sobre la salud y el ambiente. En la actualidad según lo establece el Convenio de Estocolmo, del cual México es parte, deben ser sustituidos por productos menos nocivos para finalmente ser erradicados (Estocolmo, 2001).

3.1 Características

Los bifenilos policlorados, comúnmente conocidos como BPC o PCBs (del inglés, polychlorinated biphenyls), son hidrocarburos aromáticos clorados con fórmula general condensada $C_{12}H_{(10-n)}Cl_n$, en la que n puede ir de 1 hasta 10. El número y posición de los átomos de cloro determinan las características químicas y el comportamiento ambiental de cada uno de los bifenilos; posiblemente existan 209 diferentes BPC (Acosta, 2003). Tienen una masa molecular relativa de 189 a 499 [g] y una densidad de 1.2 a 1.6 [g/cm³]. El punto de ebullición va desde los 320°C hasta 420°C y su presión de vapor oscila de 0.2 a 133[mPa] (SEMARNAT, 2007).

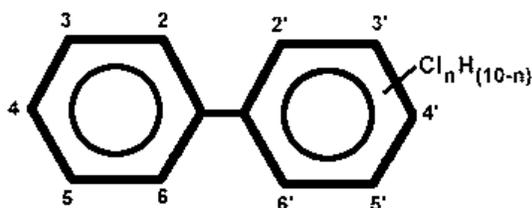


Figura 3.1. Representación general de una molécula de BPC.

Los BPC se encuentran en fase líquida y sólida: los líquidos tienen consistencia resinosa, por contener cantidades elevadas de cloro, su color es claro o ligeramente amarillo; en estado sólido son un polvo blanco. Los monoclora-bifenilos y diclorobifenilos puros son compuestos cristalinos incoloros; cuando poseen tres o más átomos de cloro son líquidos de viscosidad entre moderada y alta. Todas las mezclas industriales son líquidas,

no poseen olor especial; tienen una alta estabilidad química por lo que son difíciles de destruir, poseen baja presión de vapor, alta capacidad calorífica, alta constante dieléctrica, no son biodegradables, y no son volátiles a temperatura ambiente. No son hidrolizables y debido a la presencia de cloro en su composición, tienen elevados puntos de inflamación y al mezclarse con otros compuestos pueden modificar sus propiedades físicas, químicas y mecánicas (Acosta, 2003).

3.2 Usos y aplicaciones

Por sus características físicas y químicas, los usos de los BPC se clasifican en *cerrados* y *abiertos*. En los cerrados se trata de evitar cualquier pérdida por medio de contenedores sellados, mientras que en los abiertos los BPC quedan expuestos al ambiente y es inevitable



que se produzcan algunas pérdidas; también se puede hablar de aplicaciones *parcialmente cerradas* (ver tabla 3.2).

CERRADAS	PARCIALMENTE CERRADAS	ABIERTAS
Capacitores (50%)	Fluidos hidráulicos (6%)	Plastificantes (9%)
Transformadores (27%)	Fluidos de transferencia de calor	Lubricantes (1%)
Fluidos dieléctricos	Reguladores de voltaje	Ceras
Condensadores	Bombas de vacío	Retardantes de flama
Hornos de microondas	Circuitbreakers	Adhesivos
Acondicionadores de aire	Cables eléctricos	Revestimientos
Motores eléctricos		Materiales Aislantes
Balastos		Pesticidas
Electroimanes		Tintas
Bobinas reguladoras		Pinturas
Interruptores		Asfaltos
Relés		Condensados de tuberías

Fuente: Ángeles, 2009

Tabla 3.2. Principales aplicaciones de los BPC

Del total de BPC que se utilizaron comercialmente, el 50% se aplicó a capacitores, 27% a transformadores, 9% como plastificantes, 6% para fluidos hidráulicos y lubricantes, 1% para aditivos de petróleo, y el 7% restante para usos industriales diversos. Hasta hoy se sabe que aproximadamente el 40% de la producción de BPC ha entrado al ambiente (SEMARNAT, 2009b); el otro 60% se encuentra distribuido entre residuos y equipos en desuso o almacenados, y equipo eléctrico aún en operación.

3.3 Efectos

Los BPC han sido plenamente identificados como residuos peligrosos dado que producen fuertes daños al ser humano y al ambiente. Numerosos estudios han demostrado sus capacidades tóxicas, además de que los productos residuales de su incorrecta disposición (dioxinas y furanos) resultan ser tanto o más nocivos que los mismos BPC.

3.3.1 Riesgos a la salud

El manejo de estos compuestos requiere tener presente que se trata de sustancias altamente tóxicas, con capacidad de persistir sin modificarse durante muchos años, de atravesar las membranas celulares y de bioacumularse en el tejido adiposo de animales y seres humanos.

Específicamente para el ser humano, los efectos nocivos demostrados comprenden, entre otros: pérdida de peso, teratogenicidad, deterioro de los sistemas inmunológico y reproductivo, problemas de la piel y de las acciones enzimáticas del hígado. Otros efectos



incluyen cloracné, afecciones del sistema nervioso central, jaquecas, mareos, depresión, nerviosismo y fatiga (Secretariat of the Basel Convention, 2003).

Bajo peso y malformaciones óseas han sido observados en los productos de madres que, durante el embarazo, consumieron aceite contaminado con BPC. En centros de trabajo donde existe exposición a BPC destacan afecciones dérmicas y de las mucosas (ojos y vías respiratorias) y, a concentraciones altas, del hígado (MMA, 2001).

La capacidad carcinogénica de los BPC no ha sido demostrada aún. La IARC (International Agency for Research on Cancer) de la Organización Mundial de la Salud (OMS), mide el potencial carcinogénico de diversas sustancias y las agrupa de la siguiente manera:

Grupo 1: Carcinógenos para humanos

Grupo 2: Probablemente carcinógenos para humanos

Grupo 2A: La evidencia de carcinogenicidad está suficientemente establecida

Grupo 2B: La evidencia de carcinogenicidad no está suficientemente establecida.

Los BPC pertenecen al grupo 2B dado que no existe evidencia concluyente de que produzcan cáncer en el ser humano (Secretariat of the Basel Convention, 2003).

3.3.2 Riesgos ambientales

Los BPC son lipofílicos, esto es, tienden a acumularse en los tejidos grasos, por lo que es más frecuente encontrarlos en animales que en plantas. Atraviesan fácilmente las membranas celulares hasta depositarse en los tejidos adiposos.

Cuando se introducen al ambiente, suelen acumularse en sedimentos acuosos, siendo posteriormente consumidos en cantidades significativas por algunas especies marinas y acuáticas, y por las larvas de algunos insectos. Se han encontrado niveles altos de BPC en algunas cadenas alimenticias: este proceso se inicia por el transporte y manejo inadecuado de los BPC, favoreciendo el movimiento de dichas sustancias por aire, suelo y agua; de esta manera llegan a los mares y entran en contacto con el plancton, de ahí pasa a los peces, a los pájaros e incluso a los humanos. Se sabe que un litro de BPC contamina aproximadamente un millón de litros de agua potable; en lagos, lagunas, ríos y mares afecta la fauna presente, biomagnificándose en la cadena alimenticia (SEMARNAT, 2009b).

Algunas aves como pelícanos y otras pescadoras pueden verse seriamente afectadas. Los BPC inhiben la producción de estrógenos, lo que a su vez evita la correcta deposición de calcio durante la formación de los huevos, ocasionando cascarones más delgados y pérdida prematura; la inhibición de la producción de andrógenos conlleva fallas en la capacidad reproductiva de los machos de estas especies (MMA, 2001).



Dada la alta densidad de los BPC en los derrames al suelo, estos tienden a depositarse en la superficie y, por su condición de persistencia, permanecen en ella durante años puesto que la fauna microbiana presente no es capaz de degradarlos.

Cuando las moléculas de BPC son destruidas por calor, producen cloro, monóxido de carbono y ácido clorhídrico, el cual puede causar irritación severa del tracto respiratorio, la piel y las mucosas, dando lugar a enfermedades como faringitis, laringitis, bronquitis e inflamación de los ojos. En concentraciones altas se corre el riesgo de edema pulmonar agudo.

Aunque los BPC son resistentes a temperaturas elevadas, pueden arder en contacto directo con flamas liberando algunos compuestos como los PCDD (policlorodibenzodioxinas) y los PCDF (policlorodibenzofuranos), mejor conocidos como *dioxinas* y *furanos*, que no son productos industriales sintetizados, sino contaminantes de formación no deseada y que se ha demostrado pueden llegar a ser hasta 100 veces más tóxicos que los mismos BPC (Cortinas, 1993).

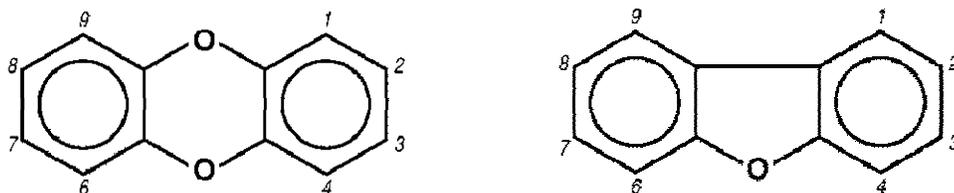


Figura 3.2. Representación general de las moléculas de dioxinas (izq.) y furanos (der.)

Es necesario mencionar que el manejo de los BPC requiere de equipo de protección personal especial, pues pueden atravesar diversos tipos de materiales.

3.3.3 Impacto social

Más allá de los riesgos ambientales que se han mencionado, uno de los daños más importantes para diferentes países ha sido el impacto social asociado: problemas de índole económica, conflictos sociales y políticos, como pérdida de confianza en el Estado e incluso confrontaciones gubernamentales con sectores de la sociedad, han sido provocados por el manejo inadecuado de BPC.

Un ejemplo claro de impacto social sucedió hace poco más de 10 años en el continente europeo. La catástrofe política, social y económica fue causada por el derrame de 60 litros de aceite con BPC, como consecuencia de la disposición incorrecta de un calentador, en abril de 1999 en Bélgica. Las consecuencias de este derrame fueron (Smeets, 2009):

- 300,000 toneladas de carne, lácteos y productos de panadería, 7'400,000 pollos, millones de huevos y 100,000 cerdos decretados no aptos para consumo humano
- costo directo: 1,750'000,000 MXP
- pérdidas por ventas no realizadas: 4,000'000,000 MXP



- el suicidio de 5 jóvenes granjeros y un gobernante
- más de 2,000 casos de cáncer, entre los presentados desde 1995 y los pronosticados para 2025
- la condena de toda la comunidad europea y el deterioro de la imagen política del gobierno belga.

El manejo incorrecto de los BPC puede resultar todo un desastre; el impacto social del caso de Bélgica da una idea de lo riesgoso que resulta el manejo ineficiente del inventario nacional de BPC. Es por ello que en el siguiente apartado se explicará en qué consiste el manejo integral de los BPC, así como la legislación nacional e internacional aplicable a estas peligrosas sustancias.

3.4 Manejo Integral

Como se vio en el capítulo anterior, el manejo integral se define como la ruta que sigue un residuo desde su generación hasta su disposición final, a esta ruta bien se le podría llamar “de la cuna a la tumba”.

Dado el enfoque del presente trabajo, se abordará más acerca de este manejo integral, en específico para los BPC, tocando por separado los temas de generación, transporte, almacenamiento (acopios), así como los distintos tratamientos que existen.

3.4.1 Generación

Los BPC, dadas sus características dieléctricas, se aplicaron en mayor medida en los equipos empleados para la generación y transmisión de energía eléctrica; muchos de los cuales aún se encuentran en operación. La tabla 3.3 muestra los usos de BPC, pudiéndose entender que en nuestro país, al igual que en el resto del mundo, el énfasis en el manejo adecuado de transformadores y capacitores es mayor.

Uso	Millones de libras	%Total
Capacitores	630	50.3
Transformadores	335	26.7
Usos en plastificantes	115	9.2
Hidráulicos y lubricantes	80	6.4
Papel de copia sin carbón	45	3.6
Fluidos para transferencia de calor	20	1.6
Aditivos de petróleo	1	0.1
Industrial misceláneos	27	2.2

Fuente: Ángeles, 2009.

Tabla 3.3. Usos industriales de los BPC (1924-1975).

Una vez que el ente poseedor de BPC contrata a una empresa prestadora de servicios ambientales autorizada ante la SEMARNAT, inicia el manejo *in situ*, esto es, identificar la



concentración de BPC que contiene el residuo. Para ello existen 2 alternativas generales: que el residuo cuente con una placa de identificación con las concentraciones o que se realice un muestreo por un laboratorio certificado para medir la concentración de BPC en el material. La tabla 3.4 muestra las concentraciones que son descritas en la normatividad mexicana (SEMARNAT, 2000).

Nombre	Descripción	Concentración BPC
Equipo	Equipo industrial de uso no eléctrico que utiliza BPC en su operación	---
Equipo contaminado	Equipo industrial manufacturado o llenado con fluidos contaminado con BPC	≥ 50 ppm* o 100 g/100 cm ²
Equipo eléctrico	Se considera al equipo eléctrico que usa líquido BPC, incluyendo capacitores y transformadores	---
Líquidos	Cualquier líquido, incluidos pero no limitados a fluidos BPC comerciales puros o mezclas	≥ 50 ppm o 100 g/100 cm ²
Material residual	Cualquier material sólido o líquido que estuvo en contacto directo con BPC	2 ppm (10 g/cm ²) - 50 ppm (100 g/100 cm ²)
Residuo peligroso	Todos aquellos residuos en cualquier estado físico que contengan BPC incluida la ropa de trabajo	≥ 50 ppm o 100 g/100 cm ²
Sólidos	Cualquier sólido contaminado	≥ 50 ppm o 100 g/100 cm ²

*ppm (partes por millón)

Fuente: SEMARNAT, 2000.

Tabla 3.4. Clasificación de materiales y residuos por concentración de BPC

Esta clasificación marca la pauta para los distintos métodos de tratamiento, y para los tiempos de almacenamiento que en apartados siguientes se abordarán.

La información que debe tener la etiqueta de un contenedor de residuos BPC se especifica en la NOM-133-SEMARNAT-2000. Además de la etiqueta, se debe considerar también el embalaje del residuo; el cual podría ser metálico, aunque recientemente se emplean plásticos de muy alta densidad (Garrido, 2009). En el caso de que se manejen volúmenes de líquidos mayores a 15 toneladas, es preferible hacerlo en contenedores certificados.

Algunas consideraciones adicionales, previas al transporte son:

- Los volúmenes menores a 15 toneladas deberán manejarse en contenedores de boca cerrada.
- Los equipos sin daños y/o sin elementos bajo riesgo, se trasladarán enteros.
- El material suelto contaminado, como trapos, se trasladará en contenedores diseñados para ello.

Es importante destacar que para el manejo adecuado de BPC, es necesario portar equipo de seguridad nivel C (mediana protección corporal y respiratoria), y en casos de concentraciones elevadas, es necesario el nivel B (alta protección corporal y respiratoria).



3.4.2 Transporte

Parte crucial de la logística de manejo de cualquier material, en este caso residuo, es el transporte. Como se comentó en el capítulo anterior, el transporte de residuos BPC debe ser efectuado por empresas autorizadas por SCT y SEMARNAT. En los siguientes párrafos se explican clara y brevemente las condiciones que deben cumplir las unidades de transporte, así como también los instrumentos legales que se deben observar.

Al transportar residuos BPC, se debe estar seguro que no existen derrames al entorno. Esto se puede lograr mediante equipos y métodos específicos de empaque; es importante usar flejes metálicos para las tarimas que soporten recipientes con residuo BPC (Ángeles, 2009) y respetar las rutas y horarios establecidos en las normas de la SCT. Las unidades que respeten los límites de velocidad y de carga serán unidades que lleguen a su destino sin complicaciones.

La carga de residuos BPC se deberá entregar sólo a empresas autorizadas para su tratamiento o almacenaje. El transporte de residuos y equipos BPC únicamente se deberá realizar vía terrestre o marítima (SEMARNAT, 2000) y la empresa de transporte deberá contar con elementos necesarios que respalden la integridad de los trabajadores y del entorno. A continuación se enumeran algunos ejemplos:

- Elementos para contener derrames
- Seguro de responsabilidad civil de cobertura amplia
- Planes de acción en caso de emergencia
- Plan de evaluación de riesgos
- Plan de vigilancia ambiental.

En el anexo 2 se observa un ejemplo de la hoja de seguridad para BPC, que deberá acompañar siempre el almacenamiento, transporte y confinamiento de estas sustancias. En la hoja de seguridad se indica: características químicas y físicas de la sustancia, condiciones de almacenamiento y manejo, riesgo asociado, daños a la salud, teléfonos y procedimientos de emergencia, entre otros.

Después del transporte, comúnmente se almacena temporalmente el residuo BPC. La legislación en esta materia no establece cantidades límite de almacenamiento; éste acopio se hace con el fin de lograr rentabilidad para un futuro viaje hacia el sitio donde se hará la disposición final, en cualquiera de sus variantes.

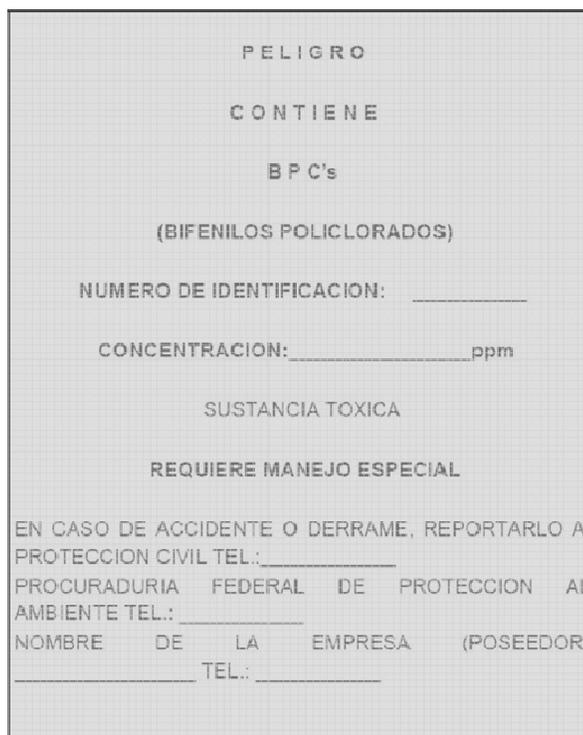
3.4.3 Almacenamiento

El almacenamiento temporal o acopio está regulado por la NOM-133-SEMARNAT-2000, que establece la señalización y etiquetado, para cualquier lugar destinado y acondicionado para almacenamiento de residuos y materiales BPC (ver figura 3.3). Este almacenamiento no debe



ser mayor de 6 meses, a menos que la empresa almacenadora solicite una prórroga justificada en términos económicos, en este caso podría ser hasta por un año.

Las condiciones mínimas necesarias para el almacenamiento de BPC, y de residuos peligrosos en general, se enumeran en el artículo 82 del RLGPGR, que define las especificaciones para construcción, infraestructura y conexión con el ambiente, para garantizar un acopio seguro y prevenir accidentes.



PELIGRO
CONTIENE
BPC's
(BIFENILOS POLICLORADOS)
NUMERO DE IDENTIFICACION: _____
CONCENTRACION: _____ ppm
SUSTANCIA TOXICA
REQUIERE MANEJO ESPECIAL
EN CASO DE ACCIDENTE O DERRAME, REPORTARLO A:
PROTECCION CIVIL TEL.: _____
PROCURADURIA FEDERAL DE PROTECCION AL
AMBIENTE TEL.: _____
NOMBRE DE LA EMPRESA (POSEEDOR)
TEL.: _____

Fuente: SEMARNAT, 2000

Figura 3.3 Etiqueta de contenedores con BPC

3.4.4 Tratamientos

El último paso en el manejo adecuado de los residuos consiste en varios tratamientos. Los métodos de tratamiento para residuos BPC consisten principalmente en reciclaje, tratamientos químicos de descontaminación e incineración.

3.4.4.1 Reciclaje

El reciclaje de BPC se refiere al proceso que se sigue para recuperar los materiales y su valor, especialmente los contenedores metálicos de cualquier especie en el caso de los transformadores contaminados. Además de la carcasa también se recupera el material de los embobinados. Este tipo de tratamiento se justifica cuando el valor del material recuperado



es mayor a la inversión que representa. Claro ejemplo de este tipo de servicio es la empresa Swede Craft establecida en Karlstad, Suecia, la cual ofrece a sus clientes reciclaje de transformadores, subestaciones y bancos de capacitores, recuperando cobre de embobinados, acero de carcasas y aceites con baja concentración de BPC, para incinerarlos y obtener energía útil (Berkström, 2009).

3.4.4.2 Tratamientos químicos

Los tratamientos químicos son un tema técnicamente complicado, debido a la dechlorinación a la que se someten los materiales con BPC, esto es, romper la molécula del BPC y separar los átomos de cloro. Para lograr esto existen los métodos enumerados a continuación:

Reducción Química en Fase Gaseosa (RQFG): Reacción realizada en una atmósfera reducida desprovista de oxígeno, donde es improbable que se produzcan dioxinas. El proceso se basa en la reacción con hidrógeno de compuestos orgánicos y organoclorados en condiciones de temperatura entre 800 y 900°C y baja presión. Este tipo de tratamiento, con las condiciones y un pretratamiento adecuado, puede lograr una tasa de tratamiento de hasta 100 toneladas por día (Petrlik, 2005).

Descomposición Catalizada por Base (DCB): Se calientan residuos sólidos o líquidos de 300 hasta 350°C bajo una atmósfera de nitrógeno a presión normal en presencia de una mezcla de hidrocarburos de alto punto de ebullición, hidróxido de sodio y un catalizador; esta tecnología es más utilizada para residuos líquidos logrando una eficiencia de 99.99999% para una concentración de BPC del 90%, y una tasa de destrucción de 20 toneladas por hora (Petrlik, 2005).

Oxidación en Agua Supercrítica (OAS): Se utilizan las propiedades únicas del agua supercrítica (temperatura >374°C y presión >22 [MPa]) para la oxidación y descomposición completa de sustancias orgánicas tóxicas, dado que el agua supercrítica funciona como un magnífico catalizador ayudando a disolver libremente el material orgánico y el oxígeno. Este tratamiento logra eficiencias del orden de 99.999% para los BPC con plantas de máxima tasa de destrucción de hasta 2,700 [kg/h] (Petrlik, 2005).

Existen distintos métodos semejantes a los antes mencionados, los cuales son una alternativa confiable a la incineración.

3.4.4.3 Incineración

La incineración consiste en llevar a muy altas temperaturas materiales con BPC, a fin de romper los enlaces que crean compuestos tóxicos; esto se logra en cámaras de combustión especialmente diseñadas para lograr eficiencias superiores al 99.9999% de destrucción.



Pueden darse cualquiera de los siguientes tres casos:

- Agregar combustible para incinerar el residuo
- El material a incinerar sirve como combustible
- El material a incinerar sirve como combustible y entrega energía extra que puede ser aprovechada.

Existen básicamente dos variantes de incineradores:

Fijos: Son instalaciones que se encuentran estratégicamente ubicadas para realizar el proceso de incineración. Un ejemplo es la planta ubicada en Altamira, Tamaulipas, perteneciente a la empresa Neutechnik, que cuenta con: un horno rotatorio, postcombustión, lavado y control de gases, así como un manejo adecuado de cenizas (Garrido, 2009).

También dentro de las instalaciones fijas, existen variaciones de tecnología, como es el caso de la utilizada por CYDSA en Monterrey para destrucción de residuos por arco de plasma alcanzando temperaturas de hasta 3,000°C, con una instalación relativamente pequeña, con un área requerida de aproximadamente 12 [m²] (Morales, 2009).

Móviles: Recientemente la tecnología de incineración de residuos ha dado un giro: la planta va a los residuos, no los residuos a la planta. Éste sistema presenta ventajas, principalmente la supresión del transporte y el acopio de residuos. Las plantas móviles de incineración son de igual eficiencia pero de mucha menor capacidad que las fijas. El ejemplo de este tipo de sistema es el utilizado por la empresa FRALMA Technologies: un incinerador del tamaño de una caja de tráiler, con capacidad para tratar 1200 [l/día] y una eficiencia de hasta el 99.999%, además incluye el sistema de control de emisiones necesario para evitar la emisión de dioxinas (Pierdant, 2009).

Existen variaciones para los distintos tipos de tratamiento, sin embargo es importante resaltar que estos no son excluyentes y es muy común encontrar combinaciones de tratamientos, por ejemplo, reciclaje para recuperación de metales, seguido por un tratamiento químico de los residuos antes de la incineración final (Berkström, 2009).

3.5 Legislación

Un aspecto fundamental para tener control sobre sustancias peligrosas como los BPC, son los instrumentos jurídicos que regulen y garanticen que los actores participantes en la gestión de BPC cumplan cabalmente con sus responsabilidades. Estos instrumentos se han presentado desde los años 70, primero en países desarrollados como Estados Unidos y países industrializados europeos y posteriormente en el resto del mundo. Es por ello que se reseñará brevemente la situación del marco legal internacional, así como la nacional.



3.5.1 Panorama internacional

La legislación internacional es, al contrario de la nacional, mucho más extensa, específica y difundida; desde las normas de la EPA, las cuales comenzaron a operar en 1977 (EPA, 2009) y regulan el almacenamiento, etiquetado, transporte y distintos tipos de tratamiento de BPC, hasta los acuerdos establecidos en manejo de sustancias peligrosas. Los tres convenios más representativos son: Estocolmo, erradicación de Compuestos Orgánicos Persistentes (COP); Basilea, que regula estrictamente el movimiento transfronterizo de RP; y Rotterdam, que regula el comercio de RP.

El convenio de Estocolmo es el que presenta un mayor énfasis en el manejo ambientalmente adecuado de los BPC. Este convenio ha sido firmado y ratificado por la mayoría de los países del mundo, como se puede ver en la figura 3.4. Este convenio firmado por 168 países en mayo de 2001 y que entró en vigor en mayo de 2004, establece un periodo de desincorporación de equipos que usan BPC a más tardar en 2025, para 3 años más tarde, en 2028, eliminar los BPC del planeta.



Fuente: Mozer, 2009.

Figura 3.4. Países participantes del convenio de Estocolmo (en tono oscuro).

Para lograr este objetivo, los países participantes se comprometieron a cesar inmediatamente la producción de nuevas variantes de BPC, reportar a la Secretaría del Convenio cada cinco años los avances en la eliminación, y presentar un plan nacional de manejo adecuado de BPC (Estocolmo, 2001).

Lamentablemente, al hacer una revisión mundial de las condiciones de cumplimiento del convenio, se observaron situaciones que frenan la eliminación de BPC, como inventarios internacionales poco confiables, pobre relación con el sector industrial privado y poco o



inexistente intercambio de información. Dados estos problemas, en la Cuarta Reunión Internacional de Seguimiento para el Convenio, realizada en Ginebra, Suiza, en mayo de 2009, se acordó la creación de un grupo multidisciplinario llamado PCBs Elimination Network (PEN). La PEN o Red de Eliminación de BPC, es un esfuerzo para el intercambio de información entre expertos de distintos sectores, como el industrial, académico o asociaciones civiles, que otorga beneficios a los miembros, tales como reconocimientos anuales y estímulos económicos. Éste esfuerzo se realiza con el fin de cumplir lo fijado en Estocolmo (Mozer, 2009).

Estos esfuerzos representan toda una ola de intentos para gestionar de forma eficiente el manejo de BPC, y son un claro ejemplo de que el tema legal concerniente a RP tiene una fuerte presencia. Es por ello que México también muestra interés en el tema de legislación ambiental.

3.5.2 Panorama nacional

La reglamentación mexicana que norma la gestión de los residuos peligrosos se concentra en la LGPGIR y su Reglamento (RLGPGIR, 2006). El objetivo de esta reglamentación es promover la conservación y recuperación de materiales valiosos, así como disponer de forma adecuada aquellos que no se pueden recuperar, y realizar inspecciones por medio de un sistema de manifiestos y autorizaciones.

El camino para reglamentar la gestión de BPC ha sido largo. Comenzó en 1988 con la LGEEPA y su Reglamento en materia de RP. En general, de ese año hasta 1997 todo material con BPC se exportaba a Europa para su incineración (Flores, 2009). En 1997 se comienza a construir en el país infraestructura de acondicionamiento y declorinación para los BPC. En 1999, con vistas a la primera reunión internacional sobre COP se elabora, por parte de la SEMARNAT, el Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-133-ECOL-1999, que se convirtió en norma en el año 2000 y entró en vigor en 2003. En ese mismo año se presentó el Plan de Acción para la Gestión de la Eliminación de los BPC, el cual atrajo inversión nacional y extranjera para dar tratamiento a BPC.

En 2004 se modifica la LGEEPA y dos años más tarde entra en vigor su nuevo Reglamento, con restricciones y obligaciones adoptadas de convenios internacionales. A partir de esa fecha los poseedores de BPC están obligados a presentar un informe anual sobre el destino de sus residuos y contaminantes, a través del nuevo formato COA (Cedula de Operación Anual), para de esta manera establecer un control de la infraestructura para eliminación de BPC. De 2007 a 2009 se generaron 2 principales planes de gestión: el PNI de Estocolmo (Plan Nacional de Implementación) que es la ratificación del convenio y sus objetivos, y el Proyecto de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) que establece un lapso de 2009 a 2012 para dar un manejo ambientalmente adecuado a los BPC existentes en el país (Flores, 2009).



3.5.2.1 Normatividad

Como se ha visto hasta ahora, uno de los esfuerzos más importantes en materia legal para la gestión de BPC es la NOM-133-SEMARNAT-2000 *Protección Ambiental - Bifenilos Policlorados (BPCS) - especificaciones de manejo de los BPC*. Esta norma regula en México la gestión de los bifenilos, y para ello establece una clasificación de residuos y concentraciones (ver tabla 3.4), y fechas límite de eliminación de los mismos (ver tabla 3.5); establece especificaciones de protección ambiental asegurando el manejo de equipos eléctricos contaminados, líquidos, sólidos y residuos peligrosos que contengan o estén contaminados con BPC, y los plazos para su eliminación mediante su desincorporación, reclasificación y descontaminación.

Clasificación BPC	Ubicación	Fecha límite de eliminación
Equipos BPC, equipos eléctricos y residuos BPC almacenados antes de la publicación de esta norma	Todos los sitios	Un año a partir de que la presente norma entre en vigor
	Sitios sensibles	
Equipo BPC, equipo eléctrico BPC, equipo contaminado BPC	Instalaciones y subestaciones urbanas, rurales e industriales	31 de diciembre de 2008
Residuos generados durante el periodo de desincorporación y equipos desincorporados	Todos los sitios	Nueve meses después de desincorporarlos

Fuente: SEMARNAT, 2000.

Tabla 3.5. Fechas límite de eliminación de BPC según NOM-133-SEMARNAT-2000

Uno de los puntos medulares de esta NOM es la incorporación de un sistema de trámites y autorizaciones comenzando con el aviso INE-04-004-B de inscripción como generador de BPC. También restringe las condiciones de uso del equipo útil que contenga BPC, el etiquetado (ver figura 3.3), el almacenamiento, transporte, y lo referente a la desincorporación, acondicionamiento, reciclaje y disposición final, fijando límites máximos de emisión de contaminantes de BPC (ver tabla 3.6).

Emisiones	Límite máximo permisible
Emisión a la atmósfera	0.5µg/m ³
Agua residual	5µg/l
Sólidos residuales *	<50 mg/kg
* Los resultados deben ser en mg/kg base seca	

Fuente: SEMARNAT, 2000.

Tabla 3.6. Límites máximos permisibles para emisiones de BPC al ambiente en tratamientos térmicos, químicos y biológicos.

Dado que las fechas establecidas en los compromisos nacionales no se cumplieron y que los acuerdos internacionales están más presentes que nunca –con ratificaciones, planes nacionales e internacionales de acción y toda una red de expertos en el tema– es necesario replantear las acciones hasta ahora tomadas. La tecnología existe, la eliminación de los BPC es posible, pero la pregunta es: ¿por qué están presentes los BPC aún en el mundo?



Para obtener buenos resultados en cuanto a la eliminación de los BPC, se deben tomar en cuenta a todos los actores involucrados y al mismo tiempo, recordar que el desempeño de unos influye en los resultados de los otros. Por ello, en el siguiente capítulo se abordará el enfoque de sistemas, que explica de forma ingenieril las relaciones existentes entre los distintos participantes de un plan de manejo de RP en forma general, para posteriormente ser adaptados al caso particular de los BPC.



CAPÍTULO 4. SISTEMAS

El manejo de askareles (nombre común de los BPC), dado que son residuos peligrosos, debe llevarse a cabo de la manera más eficiente y cuidadosa posible y tomando en cuenta los factores económicos, sociales y ambientales hasta ahora vistos. Cada uno de estos aspectos afecta de una u otra forma el desempeño de otros, modificando así el desempeño y los resultados de todo el sistema. Por ello, se deben comprender los conceptos básicos referentes a los sistemas y su comportamiento.

4.1 Definiciones

Se puede concebir a un *sistema* como un conjunto de elementos interrelacionados cuyas actividades se enfocan en alcanzar un objetivo común. No se trata solamente de un conjunto de elementos que no contenga más que la suma de los mismos; por eso, para un sistema, ‘el todo es más que la simple suma de sus partes’.

Las principales características de los sistemas son las siguientes:

- está formado por elementos, cada uno con propiedades determinadas;
- existen relaciones entre los elementos;
- los elementos se sujetan a distintos procesos;
- el todo organizado (sistema) es distinto y mayor que la simple adición de las partes (elementos), y las características de éste son propias, no las de sus elementos;
- los elementos se subordinan al todo organizado, e incluso existe una jerarquización de los elementos entre sí, esto es, hay elementos más importantes que otros;
- existen entradas, que representan los insumos que el sistema requiere para su funcionamiento; y
- existen salidas, que son los productos resultantes de la transformación de las entradas mediante los procesos propios del sistema.

Cabe señalar que en la naturaleza no existe algún sistema aislado o cerrado, sino que las perturbaciones del entorno afectan de una u otra manera su desempeño. Generalmente un sistema se representa esquemáticamente mediante la denominada *caja negra*, donde las flechas representan a las entradas, salidas y las perturbaciones del mismo (ver figura 4.1).

Otros términos relacionados con los sistemas y su aplicación son:

Enfoque sistémico. El enfoque sistémico o de sistemas busca generalizaciones que se refieran a la forma en que están organizados los sistemas; a los medios por los cuales los sistemas reciben, almacenan, procesan y recuperan información, y a la forma en que funcionan, esto es, la forma en que se comportan, responden y se adaptan ante diferentes entradas del medio (Van Gigch, 1987). Es un método de investigación, una forma de pensar, que enfatiza el sistema total en vez de sus componentes, se esfuerza por optimizar la



eficiencia del sistema en lugar de mejorar la eficiencia de elementos aislados del mismo (Estrella, 2009).

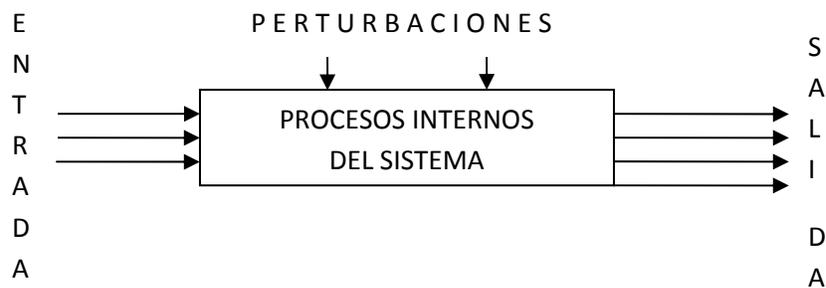


Figura 4.1. Representación de un sistema (modelo de la caja negra)

Modelos. Un modelo es la representación gráfica, física, matemática o conceptual de un sistema o fenómeno, para describir, explicar y comprender su composición, así como predecir y analizar su comportamiento ante los diversos factores que intervienen sobre él.

Los modelos gráficos son un tipo de modelo que permite visualizar los componentes de un sistema. Son especialmente útiles cuando se desean conocer, por ejemplo, las características espaciales, geográficas o geométricas de un sistema.

Para que la aplicación del modelo sea adecuada, se requiere realizar ciertas consideraciones que permitan convertir al modelo en una expresión o un objeto mucho más manejable que la realidad.

Análisis multicriterio. Describe un enfoque estructurado para determinar preferencias generales y ventajas entre opciones diversas, donde tales opciones pretenden cumplir con varios objetivos. Los objetivos deseados se especifican y los atributos o ventajas correspondientes se identifican. La forma de dar valor a tales características es mediante análisis cualitativos y cuantitativos: se consideran factores ambientales, sociales y económicos a la par.

El resultado final del análisis consiste de una clasificación de las alternativas, indicando la preferencia general asociada a cada una de ellas, lo que permite identificar la mejor alternativa a recomendar.

A pesar de que quienes realizan el análisis pueden influir de diversas maneras sobre la calificación de los factores a considerar, es de gran utilidad y tiene una fuerte aplicación en casos donde evaluar un solo factor o una sola restricción es insuficiente, sobre todo si existen implicaciones sociales y ambientales a las cuáles no es fácil asignar un valor monetario que ayude a tomar una decisión.

Al concebir el manejo de RP como un sistema se puede establecer lo siguiente:



- Entrada: la generación o posesión del residuo es la entrada
- Proceso: el transporte, acopio y tratamiento de los RP son los procesos internos del sistema
- Salida: la destrucción adecuada o el confinamiento final serán la salida.

El manejo de RP es un sistema por demás complejo, pues existe una gran cantidad de variables que no son tan fáciles de cuantificar, como el riesgo que se corre durante las operaciones de transporte o cuánto representaría en términos económicos la ocurrencia de un accidente durante dicha operación. Por ello conviene tener en mente que algunos factores son más importantes que otros y que se les debe dar prioridad.

Para decidir qué modelo emplear se deben tener en mente las características del sistema, los datos disponibles, la complejidad de las relaciones entre los elementos, los recursos y tiempo disponibles para el análisis, así como el resultado deseado.

Para evitar cometer un error por la omisión de algunos parámetros importantes, se prefirió la utilización de modelos gráficos durante el desarrollo del trabajo; además, los datos disponibles y las características buscadas vuelven conveniente y práctica la utilización de tales modelos.

Como se vio en el capítulo anterior, se requiere que los BPC sean sometidos a un tratamiento para eliminarlos. De manera similar, en el siguiente capítulo se mencionarán las características de los sistemas de eliminación existentes en México, ya sea que el BPC sea llevado al sitio de tratamiento, o que la tecnología de tratamiento vaya al sitio donde se ubiquen los residuos.

Por ello, conviene definir los conceptos referentes a los sistemas de transporte, tanto del transporte *terrestre*, como los *marítimos*, que son los permitidos por la legislación nacional para el movimiento de RP.

4.2 Sistemas de transporte

La movilidad es una necesidad humana esencial. La evolución de la sociedad depende de la habilidad de comunicarse, pero también de la capacidad y habilidad de mover o trasladar personas y bienes (Kahn et al, 2007). Los medios de transporte han ido evolucionando junto con el ser humano; a partir de la Revolución Industrial, los medios y tecnologías de transporte avanzaron a un ritmo acelerado. En la actualidad se cuenta con una amplia variedad de transportes terrestres, aéreos y acuáticos.

Los principales componentes de los sistemas de transporte son: infraestructura (camino, terminales, estaciones), vehículos, accesorios, fuerza motriz, combustible, operadores, sistemas de control, de comunicación y de localización (Sussman, 2000).



Tanto para la planeación como para el análisis de sistemas de transporte es común el uso de los conceptos de *redes* y *ruta mínima*.

Redes. Las redes son una forma apropiada de representar los sistemas de transporte, pues existe un lugar de origen, un destino al que se desea llegar, y una ruta a seguir para lograrlo. Las redes se entienden a partir de dos conceptos principales: nodos, que representan lugares físicos, y arcos, que son las conexiones o flujos entre dichos lugares (figura 4.2). También es común que los nodos sean puntos donde las características de los enlaces cambian.



Figura 4.2. Representación de una red

Usualmente existen varias formas o caminos para llegar de un nodo a otro; asimismo, existen diferentes capacidades de los enlaces, es decir, no existen flujos infinitos entre los nodos, e incluso existe una dirección del flujo entre dos nodos (Sussman, 2000).

Ruta mínima. A menudo se trata de encontrar el camino más corto entre el origen y el destino en una red. El modelo de *ruta mínima* tiene como objetivo construir un camino que contenga todos los nodos de interés y que sea tal, que la suma de los costos asociados de las ramas utilizadas sea mínimo. Cabe destacar que puede existir más de una solución (Bronson, 1983).

Como parte de los problemas relacionados con el transporte y el uso de redes, se puede preferir maximizar el flujo de materiales de un lugar a otro en lugar de buscar la distancia más corta entre el origen y el destino.

4.2.1 Transporte terrestre

A pesar de representar menos del 30% de nuestro planeta, es sobre la superficie terrestre que se mueve la mayor cantidad de medios de transporte. Existen dos grandes variantes de desplazamiento de materiales por tierra: el transporte férreo y el carretero.

Transporte férreo: Los ferrocarriles están basados en un sistema de ruedas metálicas sobre vías metálicas, existiendo actualmente trenes que se mueven por medios magnéticos sin tocar incluso las vías.

Posterior a la aparición de la máquina de vapor, el modo más común de locomoción del ferrocarril son los motores diesel o eléctricos, siendo los primeros más utilizados para transporte de carga y los últimos para transporte de pasajeros (Sussman, 2000).



Algunas de las principales características del transporte ferroviario son: el poder transportar grandes cantidades de materiales y productos a una velocidad relativamente alta; y el costo relativamente bajo. Algunos tipos de carros de carga para ferrocarriles son (Sussman, 2000):

- El *furgón* o *boxcar* que es simplemente una gran caja con una puerta, esto con la finalidad de aislar la carga de la intemperie
- La *plataforma* o *flatcar*, que es una plataforma llana sobre las ruedas. Pueden tener una parte delantera y una trasera, pero no laterales. Se utilizan principalmente para contenedores o cajas de tráileres
- El *carrogóndola*, que no tiene techo y suele ser empleado para transportar granos, carbón y otros productos que no son especialmente perecederos
- El *carrotolva*, que puede estar cubierto o descubierto y que posee una provisión para abrirse por el fondo para desalojar la carga por gravedad.
- Los *carrostanque*, que tienen forma cilíndrica y se usan principalmente para transportar materiales y sustancias en fase líquida.

En México se tuvo hace años una red ferroviaria que brindaba servicio a muchas partes de la República, tanto para transporte de materiales como de personas. Algunos hechos históricos que no se abordarán en este trabajo, tuvieron como consecuencia la debacle del sistema ferroviario del país. En la actualidad, sobreviven pocos tramos de la red original y se usan principalmente para transporte de carga en la zona centro del país, y como atractivos turísticos en otros Estados.

Transporte carretero: Se basa en motores de combustión interna, ya sea con gasolina o con diesel, moviéndose los vehículos por medio de llantas de hule sobre carreteras pavimentadas, revestidas e incluso caminos rurales y brechas. Algunos tramos carreteros son libres, es decir que circular por ellos no tiene costo, otros son de cuota, en los que se debe pagar un peaje para utilizarlos (INEGI, 2010).

La principal desventaja que presentan los automotores frente a la industria ferroviaria es que la relación carga/vehículo es mucho menor, esto debido a la potencia de los motores y las dimensiones de los vehículos. A pesar de esta desventaja, en México los automotores registran la mayor parte del transporte de pasajeros y carga, dada la mayor y mejor conectividad de la red carretera.

4.2.2 Transporte marítimo

El transporte marítimo es utilizado para grandes lotes, tan grandes que no sea posible o costeable, otro tipo de transporte. Este tipo de transporte es utilizado con tiempos de entrega mucho más prolongados, incluso meses, pero sin duda su gran ventaja radica en los grandes volúmenes y gran variedad de materiales que se pueden transportar. Es por eso que representa el mayor medio de intercambio comercial de mercancías (INEGI, 2010). Dados los volúmenes que se manejan en transporte marítimo es posible llevar distintas cargas en un



solo viaje, utilizando para ello variedad de contenedores, los cuales deben ser diseñados específicamente.

Para el transporte marítimo de sustancias peligrosas el diseño de los embarques se basa en las propiedades físicas y químicas de las mismas, existiendo una regulación en este ámbito. La ONU, a través de la Organización Marítima Internacional (IMO) y como parte de la aplicación de la Convención para la Seguridad de la Vida en el Mar (Convención SOLAS), clasifica los materiales peligrosos mediante el Código IMDG (Henríquez, 2003).

Dado el riesgo que implica el transporte marítimo de sustancias peligrosas y RP, se debe contar con un estricto plan de control, minimizarla concentración de contaminantes, diseñar embalajes adecuados que contengan eficientemente la sustancia y reforzar el barco de manera tal que resista colisiones (doble casco, doble fondo, casco reforzado), incluyendo redundancia en seguridad y protección (Henríquez, 2003).

Sea cual sea la forma de transportar una determinada carga, los costos del transporte afectan directamente la localización de las plantas de producción, almacenes, puntos de abastecimiento, sitios de disposición final y el acceso de trabajadores y consumidores a estas instalaciones. La disponibilidad del transporte y su costo definen en gran medida la factibilidad económica de diseñar y operar un sistema dado, permitiendo el rediseño de segmentos del proceso productivo y el aprovechamiento de algunas ventajas territoriales (Antún, 1994).

4.3 Transporte de residuos peligrosos

El embalaje y logística para el transporte de los RP, sin importar el medio, debe cumplir con características específicas. Con excepción de los tratamientos in situ, es decir, donde el residuo es tratado en el lugar donde se genera, los RP deben ser trasladados a alguna instalación para darles un fin ambientalmente adecuado.

4.3.1 Contenedores

El embalaje, sin importar los recipientes individuales, es llevado a cabo en contenedores metálicos que tienen la ventaja de trasladarse fácilmente de medio transportador, de camiones o ferrocarriles a barcos o viceversa. Este tipo de contenedores se pueden considerar estándar en la transportación de mercancías existiendo grúas y montacargas diseñados para ello.

Los transportes carreteros se catalogan principalmente por su capacidad de volumen en m³ y el peso máximo en kg que soportan al moverse. La carga debe ser manejada dependiendo de sus propiedades, para eso se usan algunos tipos específicos de cajas contenedoras, entre las que se encuentran (García, 2009):



- *Caja refrigerada*
- *Caja seca*
- *Caja tanque o pipa*
- *Caja abierta tipo granel*
- *Caja de plataforma*

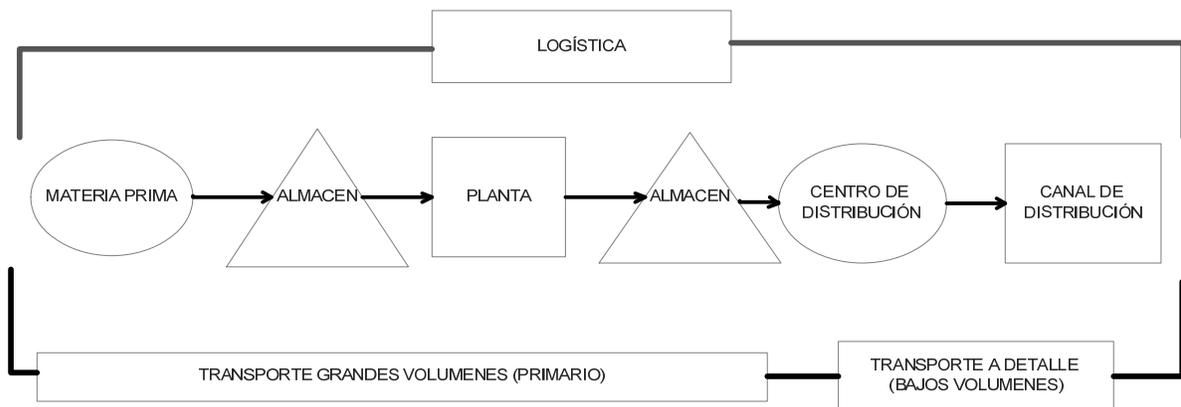
Los principales tipos de embarque para el transporte marítimo son (García, 2009):

- *Contenedores*, cajas metálicas aisladas para cargas independientes, que contienen producto embalado
- *Carga a granel*, depósitos donde se transportan materiales sólidos a granel
- *Tanque o cisterna*, depósitos para transportar líquidos
- *Carga refrigerada*, contenedor con sistema de refrigeración donde viajan productos perecederos y/o que necesiten temperaturas muy bajas.

4.3.2 Logística

La logística consiste en un conjunto de medios y métodos necesarios para llevar a cabo la organización de una empresa, o de un servicio, especialmente de distribución (RAE, 2010). En lo correspondiente a RP estos medios y métodos se aplican para ejercer una gestión ambientalmente adecuada, planeada y bien administrada, de tal forma que brinde el control más eficiente sobre estas sustancias.

La logística de los RP se puede entender como una logística inversa de productos y servicios, esto es, recolección de residuos (productos) para concentrar en un punto, en lugar de distribución a minoristas desde un gran centro(ver figura 4.3).



Fuente: García, 2009.

Figura 4.3. Enfoque clásico de la logística



Para entender mejor estos conceptos, se enlistan los tres aspectos fundamentales de la logística de RP (Garrido, 2009).

- *Recolección:* Consiste en todas las acciones que se realicen para identificar dónde se encuentran los RP, etiquetarlos, embalarlos y acondicionarlos para su transporte
- *Acarreo:* Transportar los RP hasta centros de acopio autorizados, respetando normatividad y trazando rutas óptimas para minimizar riesgos y reducir costos.
- *Disposición:* Ya que se han concentrado niveles previamente establecidos de RP, se da el tratamiento adecuado para su destrucción o, de ser económicamente viable y legalmente permitido, se confinan.

Para lograr el éxito de la logística es necesario realizar algunas *buenas prácticas* aplicables al manejo de RP (Estrucplan, 2010):

- Adecuar la zona de almacenamiento de materiales peligrosos de forma que resulte ordenada y accesible (que no se oculten productos), que facilite la detección de fugas y que cumpla con las medidas de seguridad
- Establecer los procedimientos para todas las operaciones de carga y descarga, de transporte interno y de transferencia
- En el almacenamiento, asegurar que se mantengan las distancias entre productos incompatibles
- Disponer de las hojas de seguridad y procedimientos de actuación para el manejo de bifenilos
- Evitar almacenamiento en contenedores usados, vacíos o parcialmente llenos
- Identificar y etiquetar todo
- Mantener contenedores y tanques cerrados
- Establecer programas de mantenimiento y procedimientos de....
- Realizar controles de los tanques
- Utilizar tanques de almacenamiento y contenedores siguiendo recomendaciones de fabricante y sólo para propósito preestablecidos
- A los tanques de almacenamiento se les puede instalar alarmas de rebose y válvulas de seguridad para casos de fuga
- Establecer planes de control de caducidad de productos almacenados
- Solo se podrá realizar ruta de tratamiento en 1 solo vehículo
- Todos los vehículos y contenedores deberán estar correctamente señalizados
- El vehículo que transporte RP deberá contar con las condiciones adecuadas, tanto mecánicas como eléctricas.
- Se deberá contar con la hoja de seguridad de la sustancia a transportar, así como también la guía de acción ante emergencias químicas de la SCT.
- Deberá existir una escolta para el vehículo que maneje RP.

El enfoque sistémico es una herramienta muy útil que, junto con la logística inversa, permite abordar el problema del manejo de BPC con una visión amplia y certera, principalmente en



cuestiones de transporte. En el siguiente capítulo se mostrará la situación actual de los BPC en México (poseedores y las empresas autorizadas para su manejo).



CAPÍTULO 5. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS BPC EN MÉXICO

Actualmente México, como todos los participantes del Convenio de Estocolmo, se encuentra en proceso de desincorporación y erradicación de RP. La Red de eliminación de BPC (PEN) es un esfuerzo específico para la erradicación de BPC, donde la identificación clara de poseedores es fundamental.

5.1 Inventarios

Los inventarios de BPC varían conforme aumenta del registro de poseedores ante SEMARNAT y cuando se ponen en marcha los programas de eliminación, dando como resultado datos distintos cada año. Los datos utilizados para el presente trabajo pertenecen al inventario nacional presentado en diciembre de 2009 por el M. en I. Alfonso Flores, Director General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas de la SEMARNAT (Flores, 2009).

El resumen por Estado de los poseedores de BPC en México se presenta en la tabla 5.1 donde, además de la cantidad en peso de BPC, se puede ver el apartado de *otras unidades* que representan las *piezas* reportadas (capacitores, transformadores, tambos y balastros).

Estado	# de empresas	Toneladas		Otras unidades*	
		Almacenadas	En uso	Almacenados	En uso
Aguascalientes	4	0	0	0	57c
Baja California	4	30.99	0	13c	0
Coahuila	4	3.52	224	0	370t
Colima	9	0	0	0	1t
Chihuahua	14	0	0	0	7t
Edo. México	22	36.42	10.79	0	10c, 8t
Guerrero	4	0.6	0	3c	0
Hidalgo	8	5.27	32.98	0	272t
Jalisco	8	0	0	0	0
Michoacán	20	131.74	505.98	75b	0
Nuevo León	15	25.83	0	5 t	132t
Puebla	20	0	0	0	127c
San Luis Potosí	13	9.21	76.73	10c, 2t	12c, 9t
Sonora	10	0	0	2t	2t
Tamaulipas	7	37.7	0	17ta	0
Veracruz	16	27.81	4.33	0	12t
Zacatecas	3	1.59	0	0	105c
ZMVM	53	32.65	75.07	0	60c, 501t
TOTAL	234	343.33	929.88	75b, 26c, 9t, 17ta	371c, 1,314t

* (b) balastros (c) capacitores, (t) transformadores ,(ta) tambos

Fuente: Flores, 2009

Tabla 5.1. Inventario estatal de BPC.



Existe publicado en la página de SEMARNAT un inventario con año de actualización 2006, dichos datos serán utilizados para comparar el estado de avance en la eliminación y la concentración del residuo en regiones del país. Estas regiones (ver figura 5.1) son divisiones establecidas por SEMARNAT para vigilar el cumplimiento de la normatividad ambiental.



Figura 5.1. Regiones de estudio

1 Noroeste	2 Noreste	3 Occidente	4 Centro	5 Sur	6 Sureste
Baja California Baja California Sur Sinaloa Sonora	Coahuila Nuevo León Tamaulipas Chihuahua Durango Zacatecas San Luís Potosí	Aguascalientes Colima Guanajuato Jalisco Michoacán Nayarit Querétaro	Distrito Federal Estado de México Hidalgo Morelos Puebla Tlaxcala	Guerrero Oaxaca Chiapas Veracruz	Campeche Quintana Roo Tabasco Yucatán

Tabla 5.2. Regiones de estudio

De los 180 registros en 2006, la región 4 y la región 3, son las que concentran casi el 60% de inventario de BPC en el país, tal como se puede ver en la tabla 5.2 (SEMARNAT, 2010b). Esta distribución del inventario es prácticamente constante, en términos de porcentajes, por región y se nota claramente que los residuos BPC se encuentran en zonas industriales y densamente pobladas.

Región	2006		2009	
	# registros	Porcentaje	# registros	Porcentaje
1	7	3.89	14	5.98
2	27	15.00	40	17.09
3	42	23.33	57	24.36
4	63	35.00	83	35.47
5	33	18.33	40	17.09
6	8	4.44	0	0.00
Total	180	100.00	234	100.00

Tabla 5.3. Concentración regional de BPC.



En 2006 se tenían oficialmente 2,990.93 toneladas de BPC (ver tabla 5.3) y del total de equipos reportados como *piezas* el 53% aún estaba en periodo de desincorporación, es decir, aún se encontraban en uso; además de cantidades considerables que no están debidamente identificadas y por lo tanto no se sabe el riesgo que representan. Para el año 2009 la cifra de equipos en uso se elevó alarmantemente hasta casi el 93% en proporción con el año 2006, lo que nos indica que la desincorporación de estas sustancias tiene un largo camino por recorrer.

	2006		2009	
Registros	180		234	
Toneladas totales	2990.93		1273.21	
Situación	Almacenados	Desincorporar	Almacenados	Desincorporar
Toneladas	ND		343.33	929.88
Otras unidades	Almacenados	Desincorporar	Almacenados	Desincorporar
Balastos	0	0	75	0
Capacitores	114	132	26	371
Transformadores	33	43	9	1314
Tambos	4	0	17	0
Generación de privadas	48.34%		ND	
Generación de paraestatales	51.66%		ND	

Tabla 5.4. Resumen de inventario BPC

5.1.1 Poseedores paraestatales

Tres grandes empresas paraestatales se encargaban de satisfacer el requerimiento de energía del país y manejan BPC en sus equipos eléctricos: Comisión Federal de Electricidad (CFE), Compañía de Luz y Fuerza del Centro (LyFC) y Petróleos Mexicanos (PEMEX). Aunque, con el decreto presidencial presentado el año pasado, 2009, para la extinción de LyFC, todas las responsabilidades de dicha compañía pasaron a CFE, incluyendo los BPC.

Inventarios oficiales de SEMARNAT indican que para el año 2006, 51.66% de BPC estaba en posesión de empresas paraestatales (ver tabla 5.3). CFE representa la mayor poseedora paraestatal, dado que se encarga del suministro de energía eléctrica al país y tiene en operación transformadores y capacitores en distintas regiones del país (SEMARNAT, 2010b).

5.1.2 Poseedores privados

Los BPC, como se ha visto, fueron utilizados en mayor cantidad para actividades relacionadas a la transmisión y distribución de energía eléctrica y las industrias, que requieren grandes cantidades de energía, son las mayores poseedoras de BPC.



Según datos de 2006 no hay un solo tipo de industria que predomine en la posesión de BPC, ya que cualquiera que tenga una planta con una demanda de carga eléctrica alta, probablemente usa subestaciones, incluso la misma UNAM tiene inventario de BPC y es sorprendente saber que hasta 2006 no tenía un plan de manejo.

5.2 Transporte y acopio

El inicio del manejo integral de BPC es el transporte adecuado; excepto en casos como el reciclaje in situ donde el transporte se elimina. Este transporte debe contar con las condiciones mencionadas en el capítulo 3, como son: envasado en contenedores metálicos, marcado de los mismos y del camión que lo realiza.

Las empresas autorizadas para el transporte de BPC en el país se enlistan en la tabla 5.4, con el servicio autorizado por un periodo promedio de 10 años.

Razón Social	Estado	Capacidad (Ton / viaje)
Residuos Industriales Multiquim, S.A. de C.V.	Baja California	N/D
Ecología Laboratorios y Consultores de México, S.A. de C.V.	D.F.	N/D
Chemel, S.A. de C.V.	D.F.	N/D
Futuro Energético, S.A. de C.V.	D.F.	10
M.R.P. Polaris Autotransportación, S.A. de C.V.	D.F.	77
Tractofletes Especializados, S.A. de C.V.	Hidalgo	4,495
Miguel Pintor Martínez	Hidalgo	28
TRANSPAC, S.A. de C.V.	Hidalgo	1,194,746 lt 2,803 ton
Desperdicios y Recuperaciones Industriales de México, S.A. de C.V.	México	199
Juan Pérez Ortiz	México	11
SD Myers de México, S.A. de C.V.	México	40
Class Chemical, S.A. de C.V.	México	22
Grupo Proyecto Vida, S.A. de C.V.	México	5
José Cuauhtémoc Olvera Mánriquez	México	35
Comisión Federal de Electricidad	Michoacán	9
Carel Express, S.A. de C.V.	Nuevo León	2,502
Transportadora Integral de Carga, S.A. de C.V.	Nuevo León	2,981
Esquemas Logísticos, S.A. de C.V.	Nuevo León	368
Transportación Carretera, S.A. de C.V.	Querétaro	7,634.5
T.D.R. Transportes, S.A. de C.V.	Querétaro	1,006
Neutechnik, S. A. de C. V.	Tamaulipas	N/D
Transportes Especializados Jeomara, S.A. de C.V.	Veracruz	0
Fletera Continental de Líquidos, S.A. de C.V.	Veracruz	2,446
Rafael Ramírez Agama	Veracruz	7

Fuente: SEMARNAT, 2010a.

Tabla 5.5. Transporte autorizado de BPC.



Como paso intermedio entre el transporte y el tratamiento de los BPC se encuentra el acopio. Etapa intermedia que no siempre es utilizada, solo en casos donde una cantidad no se puede manejar en un solo viaje, ya sea porque es muy poca la cantidad o sobrepasa la capacidad del vehículo.

Las condiciones descritas en el capítulo 3 (sección 3.4.3) son las requeridas para el acopio de BPC. Existen cuatro centros de acopio autorizados exclusivos para BPC en el país, como se muestra en la tabla 5.5.

Razón Social	Estado	Capacidad (Ton)
Residuos IndustrialesMultiquim, S.A. de C.V.	Guanajuato	260
Sem Tredi, S.A. de C.V.	Guanajuato	1,340
Erika Contreras Casillas	México	200
Residuos IndustrialesMultiquim, SA de CV	México	89

Fuente: SEMARNAT, 2010c.

Tabla 5.6. Acopio autorizado de BPC.

5.3 Eliminación

Como se vio en el capítulo 3, existen distintos tipos de tratamiento para la eliminación de BPC. En México, se tratan los BPC para reducir su peligrosidad y así darles un fin conforme a la Ley, ya sea dentro del territorio nacional o fuera de éste. Como uno de los países miembros del Convenio de Estocolmo, México está comprometido a desincorporar los equipos BPC que se encuentran en servicio a más tardar en 2025, y eliminarlos por completo y de forma ambientalmente adecuada a más tardar en 2028.

5.3.1 Disposiciones generales

La LGPGIR indica que el manejo y la disposición final de los residuos es responsabilidad de quien los genera: el manejo de los bifenilos policlorados deberá sujetarse a lo dispuesto en el Reglamento de esta ley y a las normas técnicas ecológicas que al efecto se expidan (Art. 38); se prohíbe la disposición final de BPC, o de residuos que los contengan, en confinamientos controlados y en cualquier otro sitio (Art. 39).

Existe un conjunto de procedimientos que se deben aplicar a los BPC para el manejo integral:

Acondicionamiento: Acción de preparar para su almacenamiento y transporte en condiciones de seguridad, equipos, equipo contaminado, equipo eléctrico, líquidos, residuos peligrosos y sólidos BPC.



Descontaminación: Proceso de tratamiento que reduce la concentración de BPC a valores menores que 50 ppm o 100g/100cm² en equipos, con la finalidad de que durante su manejo se reduzca el riesgo para la salud y el ambiente.

Desincorporación: Retirar del servicio los equipos BPC y equipos eléctricos BPC que se encuentren en operación.

Eliminación: Cambio en la estructura química de los BPC con lo cual dejan de ser bifenilos o su concentración es menor que 50 ppm o 100g/100cm².

Reciclaje: Método de transformación que permite obtener materiales susceptibles de ser reutilizados en procesos industriales.

Tratamiento: Todos aquellos procesos físicos, químicos, térmicos y biológicos diseñados para eliminar o descontaminar los equipos, equipos eléctricos, materiales, equipos contaminados, líquidos, sólidos o la composición de los residuos BPC.

Los BPC sólo podrán destruirse de acuerdo con las normas técnicas ecológicas correspondientes, bajo cualquiera de los siguientes métodos (Cortinas, 2009a):

- *químicos catalíticos*, para residuos con bajas concentraciones, e
- *incineración*, para residuos con cualquier concentración.

5.3.2 Tecnologías de tratamiento y eliminación

Los procesos autorizados para eliminación de BPC son:

- Descontaminación de sólidos como carcasas de transformadores, capacitores eléctricos e interruptores internos, entre otros
- Reclasificación de equipos transformadores
- Tratamiento químico de líquidos
- Incineración de residuos, hasta 25,000 ppm
- Tratamiento químico-biológico de líquidos y suelos contaminados.

En el país existen actualmente cuatro empresas que brindan servicios de descontaminación con una capacidad máxima de 7,150 ton/año, seis empresas que acondicionan los residuos in situ de capacidad 9,000 ton/año y 2 que realizan incineración de varios tipos de RP, incluidos los BPC que llega a eliminar que llega a eliminar 14,445 ton/año (Flores, 2009).

La capacidad instalada de tratamiento de residuos peligrosos es de aproximadamente 8,000 toneladas anuales (Belmont, 2009). Las empresas autorizadas para prestar los servicios antes mencionados son las siguientes:



Empresa	Tratamientos	Estado	Capacidad (Ton/año)
Desechos Biológicos e Industriales, S.A. de C.V.	Descontaminación de transformadores, capacitores, balastos e interruptores inmersos en aceite dieléctrico, accesorios hidráulicos y bombas utilizadas para transvase que hayan estado en contacto con BPC en concentraciones superiores a 50ppm, mediante el proceso Descontaksol que cuenta con una unidad térmica, unidad de destilación, unidad de secado y autoclave; los materiales como papel, cartón y madera se envían a disposición, el solvente utilizado es destilado y recuperado.	México	2,000
Neutechnik, S. A. de C. V.	Incineración por medio de horno rotatorio, horno de postcombustión, enfriador de gases, circuito de agua de refrigeración, filtro de mangas, filtro de carbón activado, separador de gotas, extractor, chimenea, planta de tratamiento físico-químico de agua de proceso y lavados y evaporador de sales; cuenta con un sistema de control de emisiones mediante lavado de gases.	Tamaulipas	8,760
Residuos Industriales Multiquim, S.A. de C.V.	Tratamiento de carcasas de transformador y equipos que contuvieron BPC con concentraciones superiores a 50ppm, para su descontaminación, mediante el drenado de BPC líquidos, preenjuague con solvente, desmantelado, llenado con solvente y su recirculación, destilación del solvente; la carcasa y el núcleo se descontaminan por separado y la tornillería, papel, cartón, textiles, madera y accesorios se colocan en charolas de contención para su lavado o disposición a través de empresas autorizadas para reciclaje.	Nuevo León	8,500
Saro de México, S.A de C.V.	Empresa prestadora de servicios para el tratamiento in situ de residuos líquidos o en fase acuosa contaminados con BPC, mediante degradación químico-biológica empleando el producto denominado ECOSAFE. El tratamiento se realiza en unidades móviles; su capacidad de tratamiento es de 175 ton/año.	Tabasco	175
Sem Tredi, S.A. de C.V.	Tratamiento de transformadores, capacitores y balastos que contuvieron BPC con concentraciones superiores a 50ppm, para descontaminación mediante su clasificación, drenado in situ y ex situ, desmantelamiento, descontaminación utilizando 3 autoclaves, desmantelamiento de núcleos; envío de carcasas, misceláneos, acero al silicio y cobre a reciclaje; el remanente de aceite de BPC que se elimina del núcleo y la carcasa, así como de los residuos del proceso de destilación se envían al extranjero para destrucción por incineración. Reclasificación de transformadores: se realizan pruebas eléctricas preliminares a los transformadores, de ser satisfactorias el transformador se sujeta al proceso de reclasificación, de lo contrario se someterá al proceso de descontaminación.	Guanajuato	2,000

Fuente: SEMARNAT, 2010a.

Tabla 5.7. Empresas autorizadas para tratamiento de BPC (1ª parte)



Empresa	Tratamientos	Estado	Capacidad (Ton/año)
Sistemas Integrales en el Manejo de Residuos Industriales, S. de R.L.	Incineración de residuos sólidos y líquidos que contengan BPC en concentraciones de hasta 25 000 ppm.	Hidalgo	35 (Ton/día)
S.D. Myers de México, S.A. de C.V.	Tratamiento de líquidos y sólidos contaminados con BPC con concentraciones de hasta 980,907ppm, mediante el proceso de declorinación catalítica en medio básico, a través del sistema móvil denominado BCD.	D.F.	1,200
	Descontaminación de transformadores, capacitores eléctricos, interruptores y equipos similares que contuvieron BPC con concentraciones superiores a 50ppm, mediante el drenado, apertura, descontaminación a través de solvente y destilación de la mezcla solventes-aceites BPC; la madera, tela, papel son triturados para su envío a tratamiento por oxidación térmica, las partes metálicas descontaminadas son enviadas a reciclaje metálico por fundición y las colas de destilación son tratadas en el proceso BCD por contener BPC líquidos.	México	1,775
	Descontaminación in situ de aceites (incluye núcleo y devanados) de transformadores contaminados con BPC, hasta una concentración de 2,233ppm.	México	No definida

Fuente: SEMARNAT, 2010a.

Tabla 5.7. Empresas autorizadas para tratamiento de BPC (2ª parte)

5.3.3 Exportación

Se deben cumplir las siguientes especificaciones con el fin de recibir las autorizaciones correspondientes para la exportación de BPC (SEMARNAT, 2007):

- Cumplir con lo establecido en el Capítulo IV, artículos 43 al 46 del Reglamento de la LGEEPA en Materia de Residuos Peligrosos
- Usar tambores nuevos con las especificaciones de la ONU
- Emplear contenedores especiales que cuenten con dique de contención en caso de derrame
- Identificar el tipo de residuo que está dentro de los contenedores de acuerdo con el formato de etiqueta descrito en el anexo 1 de la Norma Oficial Mexicana NOM-133-SEMARNAT-2000
- Contar con seguros y fianzas internacionales
- Establecer la fracción arancelaria correspondiente a BPC
- Constatar que la exportación y la disposición de los residuos BPC se lleve a cabo a través de la verificación del pedimento de exportación así como certificados de destrucción emitidos por la empresa receptora.



Asimismo, existen diversas actividades que se realizan durante la recolección de BPC para su exportación (SEMARNAT, 2007a). El acondicionamiento del sitio tendido de liner en suelo natural o plancha de concreto, sellado de alcantarillas y sistema de drenaje, acordonado de área y señalización donde se realizara el:

- drenado,
- trasvasado,
- acondicionamiento de equipo contaminado BPC,
- acondicionamiento en tambores, supersacos o contenedores especiales,
- empaquetado, etiquetado y estibado,
- compactado de recipientes.

Las empresas autorizadas para exportar BPC desde México son:

Empresa recolectora	Empresa importadora	País de destino	Estado	Actividades
ABB México, S.A. de C.V.	ABB Service GmbH	Alemania	San Luis Potosí	Cuantificar y transvasar BPC líquidos, así como compactar, desensamblar, empaquetar y estibar envases y equipos que contuvieron BPC; para su exportación y destrucción vía incineración.
Chemel, S.A. de C.V.	ARG	España	Distrito Federal	Cuantificar y transvasar BPC líquidos, así como compactar, desensamblar, empaquetar y estibar envases que contuvieron BPC; para su exportación y destrucción vía incineración.
Sem-Tredi, S.A. de C.V.	TREDI	Francia	Guanajuato	
Residuos Industriales Multiquim, S.A. de C.V.			Nuevo León	
Sistemas Integrales en el Manejo de Residuos Industriales, S. de R.L.			Hidalgo	Cuantificar y transvasar BPC líquidos, así como compactar, desensamblar, empaquetar y estibar envases que contuvieron BPC in situ; para su descontaminación, reciclaje o destrucción.

Fuente: SEMARNAT, 2010a.

Tabla 5.8. Empresas autorizadas para exportación de BPC.

México no acepta la importación de BPC, pero sí la exportación para destrucción, aunque no para confinamiento. Los BPC se exportan para su incineración a los siguientes países: Alemania, España, Finlandia, Francia, Inglaterra, los Países Bajos y Suiza (Flores, 2009).



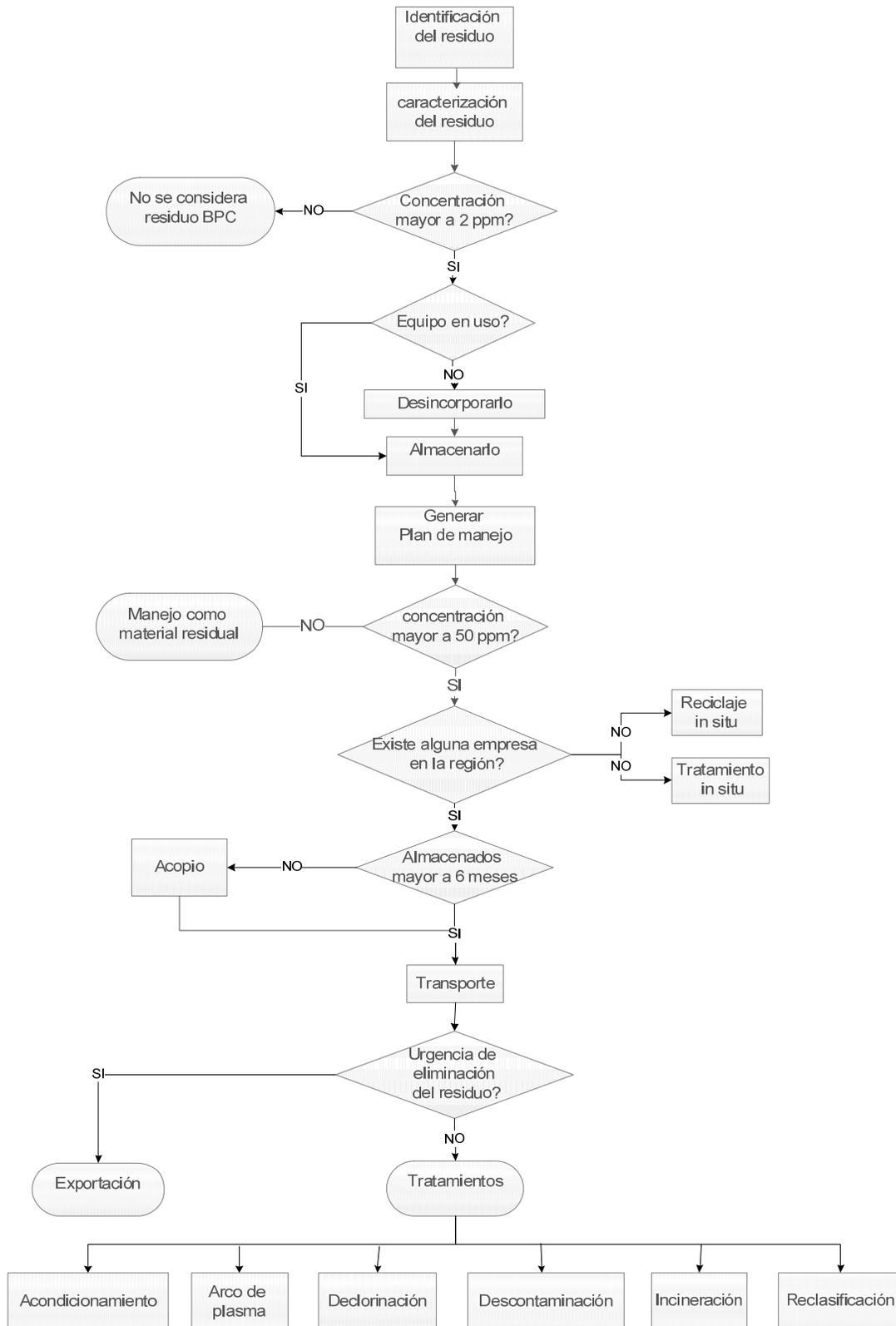


Figura 5.2. Diagrama de flujo de manejo integral de los BPC



En la figura 5.2 se muestran los caminos que sigue un residuo o equipo que contenga BPC. Cabe destacar que en México algunas actividades no se realizan, ya sea por restricciones, legales o sociales.

Después de observar la situación nacional en cuanto a opciones de manejo de BPC, en el siguiente capítulo se propondrá una ruta integral de manejo, aplicando el enfoque sistémico y la teoría de redes para rutas de transporte, basándose en la distribución espacial y características de los poseedores y empresas de tratamiento.



CAPÍTULO 6. PROPUESTA

El inventario nacional de BPC indica las cantidades existentes de dichas sustancias a nivel estatal, aunque sin la ubicación exacta de los poseedores, las características de los equipos y residuos y las concentraciones. A pesar de que los datos oficiales reportan casi 1,300 toneladas (ver tabla 5.4), algunas fuentes indican que puede haber hasta 28,000 toneladas en nuestro país (Belmont, 2009).

Para fines de este trabajo se usó el inventario presentado por la SEMARNAT en diciembre de 2009 (Flores, 2009), considerado como oficial.

Con base en las herramientas vistas en el capítulo 4 y seleccionando una de las diversas opciones existentes para tratamiento de BPC mencionadas en el capítulo 3, se planearon las siguientes rutas de eliminación. Asimismo, se tomó en cuenta la ubicación de las empresas que prestan servicios de tratamiento para BPC.

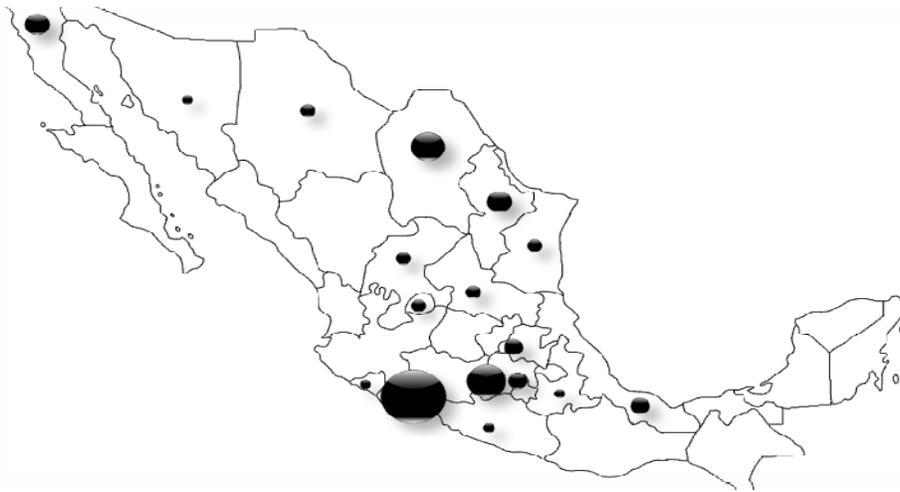
6.1 Rutas de eliminación

La presencia de BPC está íntimamente ligada al desarrollo industrial y las manchas urbanas. Es por esto que Estados que pertenecen a las regiones 1 y 6 descritas en el capítulo anterior, tienen cantidades tan bajas en el inventario oficial.

Parte fundamental de la propuesta elaborada consiste en la planificación de rutas de eliminación, esto es: caminos adecuados y autorizados de manera que los centros de tratamiento existentes sean aprovechados y se genere el menor riesgo en el transporte.

Para la presentación de la propuesta se manejan modelos gráficos que muestran, tanto los poseedores como las empresas prestadoras de servicios. En el primer mapa (figura 6.1), los círculos negros representan proporcionalmente la cantidad de BPC existente en cada entidad federativa, partiendo de la información oficial presentada en el capítulo anterior. En el segundo mapa (figura 6.2), se muestra la ubicación de las empresas prestadoras de servicio; se consideraron sólo las de acopio y tratamiento puesto que las empresas de transporte podrían prestar su servicio en cualquier parte del territorio nacional.





Los círculos representan la ubicación y magnitud relativa de los BPC por Estado

Figura 6.1. Presencia nacional de BPC

La figura 6.2 muestra la ubicación y capacidad relativa de las empresas prestadoras de servicios de tratamiento y eliminación de BPC

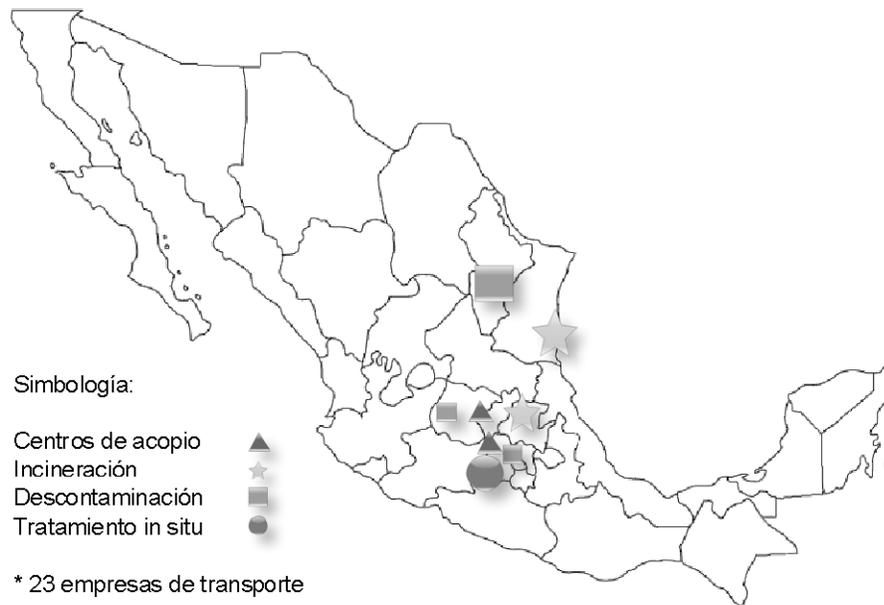


Figura 6.2. Infraestructura autorizada para tratamiento de BPC

Con base en la tabla 5.1 que indica el inventario de BPC a nivel estatal, se realizó una distinción entre las rutas propuestas:

Rutas de acarreo. Rutas por las que se recolectarán los residuos para llevarlos finalmente a una instalación de eliminación autorizada.



Rutas de tratamiento. Rutas para empresas que realizan tratamientos in situ, es decir, no recolectan el residuo sino que lo tratan en el lugar que se encuentra actualmente.

Un punto importante en la propuesta, es el que no considera el establecimiento de centros de acopio, para así reducir el riesgo de tener almacenadas cantidades mayores de BPC que las que los poseedores actualmente reportan.

Con base en el artículo 60 del Reglamento de Transporte Terrestre de Materiales Peligrosos, las unidades que realicen el acarreo se abstendrán de efectuar paradas no justificadas, así como circular por áreas centrales de ciudades y poblados, utilizando en su lugar los libramientos periféricos, cuando éstos existan. De manera similar, el artículo 61 del Reglamento prohíbe que las unidades que transporten los BPC lo hagan en convoy.

Se recomienda ampliamente que las unidades de transporte viajen resguardadas, ya sea por unidades propias de las empresas o por unidades federales, para aumentar el nivel de seguridad en torno a esta operación. Las principales consideraciones para el diseño de las rutas fueron las siguientes:

- ✓ La ruta debe ser la más corta, para reducir los tiempos y costos del transporte, y para que los BPC tengan menor posibilidad de entrar en contacto con el medio
- ✓ Las rutas deberán conducir al centro de eliminación más cercano
- ✓ La ruta debe pasar, en la medida de lo posible, por las ciudades más pobladas y más industrializadas de los Estados, para abarcar la mayor cantidad de BPC
- ✓ La ruta debe abarcar la mayor cantidad de ciudades posibles, para aprovechar al máximo las capacidades de las unidades de transporte
- ✓ La ruta debe iniciar en la ciudad más alejada de los centros de tratamiento respectivos.

También se recomienda que las empresas poseedoras y las empresas de transporte formen acuerdos para aprovechar la capacidad de estas últimas y puedan acarrear residuos realizando paradas en más de una ciudad para recolectar en cada una, considerando la capacidad de las unidades de transporte y las restricciones ambientales y de tránsito. Esto es, aprovechar cada transporte lo mejor posible.

La numeración de las rutas se basó en el centro de tratamiento al cuál llegarán los BPC, para el caso de las rutas de acarreo, o en la ciudad donde se ubican las empresas que brindan tratamiento in situ, para el caso de las rutas de tratamiento.

6.1.1 Rutas de acarreo

A continuación se presentan cada una de las rutas propuestas y los detalles de cada recorrido. Los nombres en negritas corresponden a las ciudades que tienen relevancia para la ruta, ya sea por su actividad industrial, su población o ambas.



Ruta 1a: Lázaro Cárdenas [B.C.] – Mina [N.L.]

La ciudad de Lázaro Cárdenas, Baja California, es la más alejada del centro de tratamiento de Mina, Nuevo León. Esta ruta pasará por la mayor cantidad de ciudades en el norte del país, aumentando la posibilidad de acarrear los BPC existentes en los estados que abarca. Por las características geográficas de los estados del norte, que influyen en la conectividad de su red carretera, las rutas que los abarcan pasan por las mismas ciudades en buena parte de sus tramos. Antes de entrar en Nuevo León, las primeras rutas pasan por el estado de Coahuila, por lo que se podrá repartir de manera equitativa el inventario de éste estado para aligerar las cargas, pues las demás entidades no poseen cantidades tan grandes como Coahuila. Cabe destacar que esta es la ruta más larga de todas.



Recorrido. Esta ruta toca los siguientes poblados: **Lázaro Cárdenas** → El Chinero - El Faro - Entronque San Felipe - Cuernavaca [B.C.] - San Luis Río Colorado - Sonoyta - Caborca - Altar - Santa Ana - Libramiento Magdalena - Imuris - Cananea - Entronque Naco - Agua Prieta [Son.] - Janos - Nuevo Casas Grandes - Vado de Santa María - Entronque El Berrendo - Ricardo Flores Magón - Entronque Ricardo Flores Magón - Entronque Ojo Laguna - Agua Caliente - Sacramento - **Chihuahua** - Delicias - Entronque Saucillo - Conchos - Camargo - Jiménez - Entronque San Rafael [Chih.] - Entronque Ceballos - Cartagena - Bermejillo - Brittinham - Venecia [Dgo.] - Francisco I. Madero - Concordia - San Pedro de Las Colonias - La Cuchilla - La Paila - Loma Bonita - Puebla - Entronque Saltillo - **Saltillo** - **Ramos Arizpe** - Ojo Caliente [Coah.] - Entronque Santa Catarina - Libramiento Monterrey - Entronque Topo Chico - Hidalgo → **Mina**.

Ruta	1a	Acarreo		Tratamiento in situ	
Distancia total	Tiempo de recorrido	Toneladas	Otras unidades	Toneladas	Otras unidades
km	horas				
2,285.6	25:18	20 (B.C.) 25 (Coah.)	41 t (Coah.)	-	-
Empresa prestadora:		Residuos Industriales Multiquim, S. A., de C. V.			

Tabla 6.1. Características de la ruta Lázaro Cárdenas - Mina



Residuos Industriales Multiquim, S. A. de C. V. (RIMSA) es la mayor empresa en el país dedicada al manejo de residuos peligrosos. Su Centro de Tratamientos y Disposición Final está ubicado en el km. 86 de la Carretera Monterrey-Monclova, en el Puerto San Bernabé, Municipio de Mina, Nuevo León. Se localiza en este lugar porque múltiples estudios de geohidrología, estudios de permeabilidad de suelos, análisis climatológicos, proyección de uso del suelo, entre otros, determinaron que el sitio cuenta con las características ideales para instalar un centro de este tipo.

Ruta 1b: Tijuana [B.C.] – Mina [N.L.]

Tijuana tiene gran relevancia en el diseño de esta segunda ruta por sus características geopolíticas, pues además de poseer una buena cantidad de industria, es la ciudad más poblada de Baja California. Además, esta ruta incluye dentro de su recorrido a la capital de este estado.



Recorrido. Incluye: **Tijuana** → Entronque Tijuana - Tecate y Libramiento de Tecate - Entronque Sandoval - Entronque El Hongo - Entronque La Rumorosa - La Rumorosa - Flor del Desierto - El Centinela - Libramiento de **Mexicali** - Cuernavaca [B.C.] - continúa igual que la ruta (1a) → **Mina**.

Ruta	1b	Acarreo		Tratamiento in situ	
		Toneladas	Otras unidades	Toneladas	Otras unidades
Distancia total	Tiempo de recorrido				
km	horas				
2,250.32	24:49	10.99 (B.C.) 25 (Coah.)	13 c (B.C.) 41 t (Coah.)	-	-
Empresa prestadora:		Residuos Industriales Multiquim, S. A., de C. V.			

Tabla 6.2. Características de la ruta Tijuana – Mina



Ruta 1c: Huatabampo [Son.] – Mina [N.L.]

Huatabampo es una de las ciudades pobladas más meridionales de Sonora, lo que hace que se recorran ciudades distintas a las de las rutas anteriores. Además cuenta con empresas dedicadas al enlatado de productos agrícolas, y en los puertos cercanos existe industria pesquera.



Recorrido: Incluye 18 ciudades más que la ruta (1a); inicia en **Huatabampo** → Navojoa - Entronque **Cd. Obregón** - Esperanza - Rosario - Salcedo - Yécora - Maycoba [Son.] - Yepachi - Cahuisori - Tomochi - Entronque Guerrero - Entronque San Pedro - La Junta - **Cd. Cuauhtémoc** - Santa Isabel - Entronque Nuevo Palomas - Delicias - continúa igual que la ruta (1a) → **Mina**.

Ruta	1c	Acarreo		Tratamiento in situ	
Distancia total	Tiempo de recorrido	Toneladas	Otras unidades	Toneladas	Otras unidades
km	horas				
1,526.4	18:56	25 (Coah.)	2 t (Son.) 41 t (Coah.)	-	-
Empresa prestadora:		Residuos Industriales Multiquim, S. A., de C. V.			

Tabla 6.3. Características de la ruta Huatabampo - Mina

Ruta 1d: Hermosillo [Son.] – Mina [N.L.]

Como capital de su estado, Hermosillo fue otra de las ciudades que se considera puede poseer BPC y por tanto es necesario proponer una ruta que la incluya. Debido a su oferta educativa y su fuerte presencia en el sector servicios, Hermosillo tiene un importante índice de crecimiento demográfico.





Recorrido: Hermosillo → Entronque San Pedro - Santa Ana - Libramiento Magdalena - continúa igual que la ruta (1a) → **Mina**.

Ruta		1d			
Distancia total	Tiempo de recorrido	Acarreo		Tratamiento in situ	
km	horas	Toneladas	Otras unidades	Toneladas	Otras unidades
1,726	18:47	25 (Coah.)	2 t (Son.) 41 t (Coah.)	-	-
Empresa prestadora:		Residuos Industriales Multiquim, S. A., de C. V.			

Tabla 6.4. Características de la ruta Hermosillo - Mina

Ruta 1e: Cd. Juárez [Chih.] – Mina [N.L.]

Cd. Juárez es la ciudad más poblada de Chihuahua y posee la séptima zona urbana más grande de México. Cuenta con industria, principalmente maquila, lo que incide en el tamaño de su población y nos indica la posible presencia de BPC.





Recorrido: Cd. Juárez → Salinas - Samalayuca - Villa Ahumada - El Sueco - Entronque Ojo Laguna - continúa igual que la ruta (1a) → Mina.

Ruta	1e	Acarreo		Tratamiento in situ	
		Toneladas	Otras unidades	Toneladas	Otras unidades
Distancia total km	Tiempo de recorrido horas				
1,182.4	12:04	25 (Coah.)	5 t (Chih.) 41 t (Coah.)	-	-
Empresa prestadora:		Residuos Industriales Multiquim, S. A., de C. V.			

Tabla 6.5. Características de la ruta Cd. Juárez - Mina

Ruta 1f: Hidalgo del Parral [Chih.] – Mina [N.L.]

Esta es la única ruta de las que pasan por Chihuahua, que no pasa por su capital, y que al mismo tiempo abarca menos ciudades de dicho estado, por lo que se consideró acarreará una cantidad menor BPC de su inventario.



Recorrido: Hidalgo del Parral → Jiménez - continúa igual que la ruta (1a) → Mina.

Ruta	1f	Acarreo		Tratamiento in situ	
Distancia total	Tiempo de recorrido	Toneladas	Otras unidades	Toneladas	Otras unidades
km	horas				
685.7	7:15	25 (Coah.)	2 t (Chih.) 41 t (Coah.)	-	-
Empresa prestadora:		Residuos Industriales Multiquim, S. A., de C. V.			

Tabla 6.6. Características de la ruta Hidalgo del Parral - Mina

Ruta 1g: Cd. Acuña [Coah.] – Mina [N.L.]

Cd. Acuña cuenta con 5 parques industriales, donde están instaladas 62 empresas extranjeras, destacando la industria maquiladora, destinada a la actividad de ensamble de aparatos eléctricos y la producción de equipo industrial diverso. Al igual que las dos siguientes rutas, abarca ciudades únicamente de Coahuila antes de entrar a Mina. Además, al igual que la ruta siguiente, pasa por la ciudad de Monclova, la principal productora de acero del país que, junto con otras unidades industriales, provee una parte considerable de las necesidades de la industria nacional en las ramas eléctrica, automotriz, de la construcción, alimenticia, petrolera, de bienes de capital, así como los sectores agrícola y de transporte.



Recorrido: Cd. Acuña → Morelos - Allende - Entronque Allende - Nueva Rosita - Sabinas - El Sauz - Monclova - Gloria → Mina.



Ruta	1g	Acarreo		Tratamiento in situ	
Distancia total	Tiempo de recorrido	Toneladas	Otras unidades	Toneladas	Otras unidades
km	horas				
457	5:08	25 (Coah.)	41 t (Coah.)	-	-
Empresa prestadora:		Residuos Industriales Multiquim, S. A., de C. V.			

Tabla 6.7. Características de la ruta Cd. Acuña - Mina

Ruta 1h: Piedras Negras [Coah.] – Mina [N.L.]

Piedras Negras es, según datos del INEGI, una de las ciudades con menor índice delictivo y con mayor calidad de vida de nuestro país, además de contar con 2 centrales termoeléctricas. Aproximadamente un 25% de su población económicamente activa se encuentra empleado en la fabricación de autopartes, componentes electrónicos y textiles. Piedras Negras es una de las ciudades fronterizas importantes de la república, por lo que fue considerada para ser origen de una ruta.



Recorrido: Piedras Negras → Nava - Entronque Allende - continúa igual que la ruta (7) → Mina.

Ruta	1h	Acarreo		Tratamiento in situ	
Distancia total	Tiempo de recorrido	Toneladas	Otras unidades	Toneladas	Otras unidades
km	horas				
403	4:26	25 (Coah.)	41 t (Coah.)	-	-
Empresa prestadora:		Residuos Industriales Multiquim, S. A., de C. V.			

Tabla 6.8. Características de la ruta Piedras Negras - Mina



Ruta 1i: Torreón [Coah.] – Mina [N.L.]

Esta ruta comienza en la ciudad de Torreón, ciudad con una importante presencia de las industrias minera y lechera, y que posee una población considerable dentro de su área conurbada, y continúa por la capital de Coahuila; es la ruta que se consideró podrá encontrar mayor cantidad de BPC para eliminar en ese estado.



Recorrido: Torreón → Entronque La Unión - Matamoros - La Cuchilla - continúa igual que la ruta (1a) → **Mina**.

Ruta	1i	Acarreo		Tratamiento in situ	
Distancia total	Tiempo de recorrido	Toneladas	Otras unidades	Toneladas	Otras unidades
km	horas				
383	4:25	27.52 (Coah.)	42 t (Coah.)	-	-
Empresa prestadora:		Residuos Industriales Multiquim, S. A., de C. V.			

Tabla 6.9. Características de la ruta Torreón - Mina

Ruta 1j: Matehuala [S.L.P.] – Mina [N.L.]

Matehuala se encuentra cerca de ciudades que cuentan con estaciones de ferrocarril en la zona norte del estado de San Luis Potosí, además de ser la ciudad más importante del norte del estado.



Recorrido: Matehuala → Entronque Cedral - Entronque Matehuala II - Entronque San Roberto - Puerto México - Entronque La Carbonera - Libramiento de Saltillo - Ojo Caliente - continúa igual que la ruta (1a) → **Mina**.

Ruta	1j	Acarreo		Tratamiento in situ	
Distancia total	Tiempo de recorrido	Toneladas	Otras unidades	Toneladas	Otras unidades
km	horas				
347	3:29	28 (S.L.P.)	7 c, 4 t (S.L.P.)	-	-
Empresa prestadora:		Residuos Industriales Multiquim, S. A., de C. V.			

Tabla 6.10. Características de la ruta Matehuala - Mina

Ruta 1k: Nuevo Laredo [Tams.] – Mina [N.L.]

Como todas las ciudades de nuestro país que limitan con los Estados Unidos, las ciudades fronterizas de Tamaulipas consideradas en las siguientes dos rutas tienen una gran importancia para la zona norte y el país en general, y se encuentran más cerca de Mina que de Altamira. Particularmente, más del 36% del total de la actividad de comercio internacional de México hacia el exterior, cruza por Nuevo Laredo.



Recorrido: Nuevo Laredo → Entronque Nuevo Laredo [Tams.] - La Gloria - **Monterrey** - Entronque Topo Chico - Hidalgo → **Mina**.



Ruta	1k	Acarreo		Tratamiento in situ	
Distancia total	Tiempo de recorrido	Toneladas	Otras unidades	Toneladas	Otras unidades
km	horas				
242	2:23	6.3 (Tams.)	3 ta (Tams.)	-	-
Empresa prestadora:		Residuos Industriales Multiquim, S. A., de C. V.			

Tabla 6.11. Características de la ruta Nuevo Laredo - Mina

Ruta 1l: Matamoros [Tams.] – Mina [N.L.]

Esta ruta abarca las otras dos ciudades fronterizas importantes de Tamaulipas. Matamoros es sede de 115 maquiladoras dedicadas mayoritariamente a la exportación hacia los Estados Unidos. Las maquiladoras producen, entre otros bienes, cables, electrodomésticos, componentes eléctricos y electrónicos y autopartes; además, la ciudad cuenta con cuatro puentes internacionales. Reynosa es también un importante centro de la industria petrolera y maquiladora.

Esta ruta se podrá subdividir en dos etapas: una que contemple lo existente en las ciudades indicadas del estado de Tamaulipas y otra que contemple lo existente en la Zona Metropolitana de Monterrey, donde se ha considerado existe la mayor cantidad de BPC de Nuevo León, por la gran industria y población de esta ciudad.



Recorrido: Matamoros → Entronque Anáhuac - Río Bravo - **Reynosa** [Tams.] - Entronque La Sierrita - Entronque Cadereyta - Entronque Villa Juárez - Entronque Autódromo - Entronque Topo Chico - continúa igual que la ruta (1a) → **Mina**.

Ruta	1l	Acarreo		Tratamiento in situ	
Distancia total	Tiempo de recorrido	Toneladas	Otras unidades	Toneladas	Otras unidades
km	horas				
334	3:20	25.83 (N.L.) 12.5 (Tams.)	137 t (N.L.) 6 ta (Tams.)	-	-
Empresa prestadora:		Residuos Industriales Multiquim, S. A., de C. V.			

Tabla 6.12. Características de la ruta Matamoros - Mina



Ruta 2a: San Luis Potosí [S.L.P.] – Salamanca [Gto.]

Empezando en la ciudad de San Luis Potosí, que en los últimos años ha tenido un importante desarrollo industrial, esta ruta concentra la mayor cantidad de BPC de dicho estado. La zona conurbada de San Luis Potosí es considerada la décima zona metropolitana más grande de México con una población superior al millón de habitantes y se ubica en el centro del "triángulo" que forman las 4 ciudades más grandes e importantes del país: Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey y Puebla.



Recorrido: San Luis Potosí → Libramiento San Luis Potosí - Entronque San Nicolás - Entronque La Pila - Cerro Gordo - Villa de Reyes [S.L.P.] - San Felipe - **Silao** - Entronque Guanajuato - Entronque Santa Teresa - El Copalillo - Entronque Silao - Entronque Salamanca [Gto.] → **Salamanca**.

Ruta	2a	Acarreo		Tratamiento in situ	
Distancia total	Tiempo de recorrido	Toneladas	Otras unidades	Toneladas	Otras unidades
km	horas				
218	2:30	29.94 (S.L.P.)	8 c, 4 t (S.L.P.)	-	-
Empresa prestadora:		Sem Tredi, S.A. de C.V.			

Tabla 6.13. Características de la ruta San Luis Potosí - Salamanca

Sem Tredi en nuestro país brinda el Servicio Integral de Manejo y Eliminación de materiales y/o equipos contaminados con BPC, desde el diagnóstico inicial hasta el tratamiento y eliminación de este tipo de materiales en total cumplimiento con la normatividad nacional e internacional. La empresa cuenta actualmente con una planta de tratamiento en Salamanca donde, con aval de las autoridades en México, puede dar tratamiento a transformadores, capacitores y balastos.



Ruta 2b: Sombrerete [Zac.] – Salamanca [Gto.]

Una ruta bastante práctica que empieza en una ciudad con industria minera, como muchas ciudades en esa zona, posteriormente pasa por la capital de su estado, y además puede acarrear todo el inventario de BPC de dos estados.



Recorrido: Sombrerete → Las Palmas - Entronque San Isidro - **Fresnillo** - La Providencia - Enrique Estrada - Entronque Víctor Rosales - Libramiento de Víctor Rosales - Entronque Calera - Morelos - La Escondida - **Zacatecas** - Guadalupe - Entronque Osiris - Entronque Cuauhtémoc - Cd. Cuauhtémoc [Zac.] - Cosío - Rincón de Romos - Entronque Zapata - Libramiento de San Francisco de los Romo - Entronque Aguascalientes - **Aguascalientes** - Peñuelas [Ags.] - Entronque Las Pilas - Entronque Encarnación - Entronque San José - Entronque San Francisco del Rincón - **León** - Libramiento de León - Entronque León - Entronque Guanajuato - continúa igual que la ruta (2a) → **Salamanca**.

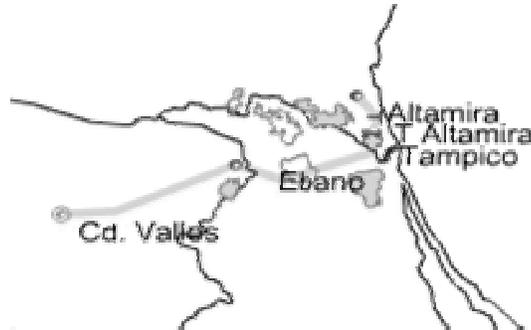
Ruta	2b	Acarreo		Tratamiento in situ	
Distancia total	Tiempo de recorrido	Toneladas	Otras unidades	Toneladas	Otras unidades
km	horas				
434	5:28	1.59 (Zac.)	57 c (Ags.) 105 c (Zac.)	-	-
Empresa prestadora:		Sem Tredi, S.A. de C.V.			

Tabla 6.14. Características de la ruta Sombrerete - Salamanca



Ruta 3a: Cd. Valles [S.L.P.] – Altamira [Tams.]

Por su peculiar ubicación geográfica respecto a los centros de tratamiento, conviene que el inventario del estado de San Luis Potosí sea tratado en centros distintos. En el último caso se parte de Cd. Valles, la segunda ciudad más grande de San Luis Potosí, pasando por la zona de la Huasteca hasta llegar al centro ubicado en Altamira. El cultivo y procesamiento de la caña de azúcar y sus atractivos turísticos naturales, conforman las mayores industrias de la ciudad y sus alrededores.



Recorrido: Cd. Valles → Tamuín - Ebano [SLP] - Antonio J. Bermúdez - Entronque Chairel [Ver.] - Libramiento de Tampico - Entronque Altamira → Altamira.

Ruta	3a	Acarreo		Tratamiento in situ	
Distancia total	Tiempo de recorrido	Toneladas	Otras unidades	Toneladas	Otras unidades
km	horas				
142.48	1:45	28 (S.L.P.) 6.3 (Tams.)	7 c, 3 t (S.L.P.) 3 ta (Tams.)	-	-
Empresa prestadora:		Neutechnik, S. A. de C. V.			

Tabla 6.15. Características de la ruta Cd. Valles -Altamira

La *Planta de Tratamiento Térmico de Alta Definición* de la empresa Neutechnik puede tratar todos los tipos de residuos incluidos en la NOM-052-SEMARNAT-2005 excepto: productos radioactivos, explosivos plásticos y pólvoras en todas sus variedades. Pueden estar en forma de líquidos, gases, lodos y sólidos. Para el caso de sólidos las dimensiones máximas son de 600x350x250mm; estas características la convierten en una planta eficiente y versátil.



Ruta 3b: Cd. Victoria [Tams.] – Altamira [Tams.]

La capital del estado de Tamaulipas no era contemplada en ninguna ruta anterior. Es por esto que se asigno una ruta especial para ella.



Recorrido: Cd. Victoria → San Juan - Mariano Escobedo - Fortín Agrario - González - Manuel - Cuauhtémoc → Altamira.

Ruta	3b	Acarreo		Tratamiento in situ	
Distancia total	Tiempo de recorrido	Toneladas	Otras unidades	Toneladas	Otras unidades
km	horas				
252	2:56	6.3 (Tams.)	3 ta (Tams.)	-	-
Empresa prestadora:		Neutechnik, S. A. de C. V.			

Tabla 6.16. Características de la ruta Cd. Victoria -Altamira

Ruta 3c: Veracruz [Ver.] – Altamira [Tams.]

Uno de los principales puertos comerciales es Veracruz, que es precisamente de donde parte la ruta 20. Esta ruta además pasa por Poza Rica, Tuxpan y Tampico, otros puertos importantes, con amplia presencia de la industria del petróleo, además de la capital del estado de Veracruz, y sus ciudades cercanas que son atractivos turísticos.





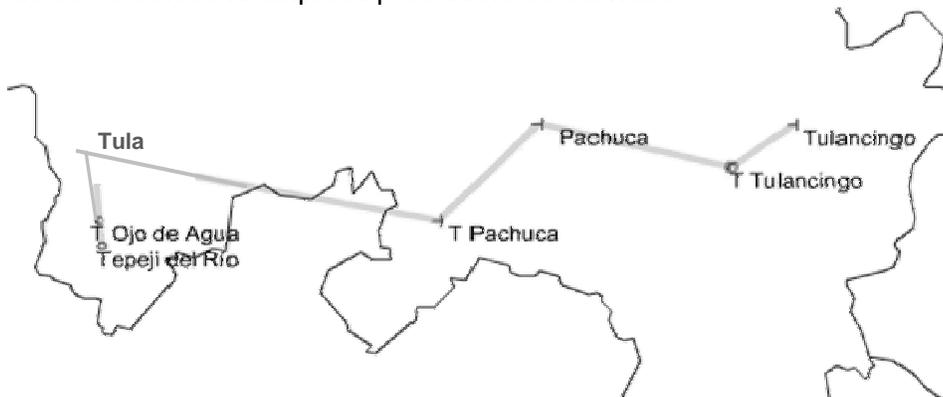
Recorrido: Veracruz → Xalapa - Poza Rica - Tuxpan [Ver.] - Tampico [Tams.] → Altamira.

Ruta	3c	Acarreo		Tratamiento in situ	
Distancia total	Tiempo de recorrido	Toneladas	Otras unidades	Toneladas	Otras unidades
km	horas				
2,258	7.5	27.81 (Ver.) 6.3 (Tams.)	2 ta (Tams.)	-	-
Empresa prestadora:		Neutechnik, S. A. de C. V.			

Tabla 6.17. Características de la ruta Veracruz -Altamira

Ruta 4a: Tulancingo [Hgo.] – Tepeji del Río [Hgo.]

La ruta de Hidalgo pretende llevar a incineración todo el inventario de dicho estado en sólo una ruta de acarreo, donde dicha ruta tiene como paradas, además de la zona petrolera de Tula, otras zonas industriales como Tulancingo, Pachuca y Tepeji del Río, siendo en esta última donde se encuentra la empresa prestadora de servicios.



Recorrido: Tulancingo → Pachuca - Tula → Tepeji del Río.



Ruta	4a	Acarreo		Tratamiento in situ	
Distancia total	Tiempo de recorrido	Toneladas	Otras unidades	Toneladas	Otras unidades
km	horas				
158	2	38.25 (Hgo.)	272 t (Hgo.)	-	-
Empresa prestadora:		Sistemas Integrales de Manejo de Residuos Peligrosos S.de R.L.			

Tabla 6.18. Características de la ruta Tulancingo – Tepeji del Río

En las instalaciones de la empresa Sistemas Integrales de Manejo de Residuos Peligrosos S. de R. L. se realiza la incineración de BPC de concentraciones muy elevadas (hasta 25,000 ppm).

Ruta 5a: Chilpancingo [Gro.] – Atlacomulco [Edo. de Méx.]

Esta ruta fue diseñada para recolectar las pequeñas cantidades de BPC de Guerrero, iniciando en Chilpancingo y pasando por Acapulco, para después tomar una parte del inventario del estado de Michoacán pasando posteriormente por el puerto de Lázaro Cárdenas y Morelia.



Recorrido: Chilpancingo → Acapulco - Ixtapa [Gro.] - Lázaro Cárdenas - Morelia - Maravatió [Mich.] - Temascalcingo [Edo. de Méx.] → Atlacomulco.

Ruta	5a	Acarreo		Tratamiento in situ	
Distancia total	Tiempo de recorrido	Toneladas	Otras unidades	Toneladas	Otras unidades
km	horas				
970	10.5	0.6 (Gro.) 50 (Mich.)	3 c (Gro.) 75 b (Mich.)	-	-
Empresa prestadora:		SD Myers de México S.A. de C.V.			

Tabla 6.19. Características de la ruta Chilpancingo - Atlacomulco



SD Myers provee soluciones ambientalmente adecuadas en materia de eliminación de BPC, como son: el proceso SDMI PCBX para declorinación de aceites, destrucción o reciclaje de transformadores y otros equipos eléctricos, remediación de sitios contaminados, entre otros. Por más de 25 años la empresa ha declorinado eficiente y exitosamente más de 400 millones de litros de aceites y ha recuperado 100 millones de libras de material de transformadores en 15 países.

Ruta 5b: Manzanillo [Col.] – Atlacomulco [Edo. de Méx.]

Esta ruta comienza en otro puerto comercial, Manzanillo, para luego pasar por la capital de Colima, y posteriormente dirigirse al puerto de Lázaro Cárdenas, Michoacán, estado en el cual debido posiblemente a su industria metalmecánica y siderúrgica es donde se localiza la más alta cantidad del inventario de BPC.



Recorrido: Manzanillo → Colima - Tecomán [Col.] - Lázaro Cárdenas - continúa igual que la ruta (5a) → Atlacomulco.

Ruta	5b	Acarreo		Tratamiento in situ	
Distancia total	Tiempo de recorrido	Toneladas	Otras unidades	Toneladas	Otras unidades
km	horas				
824	9.2	81.74 (Mich.)	1 t (Col.)	-	-
Empresa prestadora:		SD Myers de México S.A. de C.V.			

Tabla 6.20. Características de la ruta Manzanillo - Atlacomulco

Ruta 5c: Lerma [Edo. de Méx.] – Atlacomulco [Edo. de Méx.]

La ruta interna de la zona poniente del Estado de México inicia por el “Corredor Lerma” hacia la ciudad de Toluca para dirigirse al centro de tratamiento en Atlacomulco. Esta ruta pretende erradicar el inventario de la zona occidental de esta entidad federativa.





Recorrido: Lerma → Toluca - San Cayetano - Ixtlahuaca → Atlacomulco.

Ruta	5c	Acarreo		Tratamiento in situ	
Distancia total	Tiempo de recorrido	Toneladas	Otras unidades	Toneladas	Otras unidades
km	horas				
86	1	47.21 (Edo. de Méx.)	10 c, 8 t (Edo. De Méx.)	-	-
Empresa prestadora:		SD Myers de México S.A. de C.V.			

Tabla 6.21. Características de la ruta Lerma - Atlacomulco

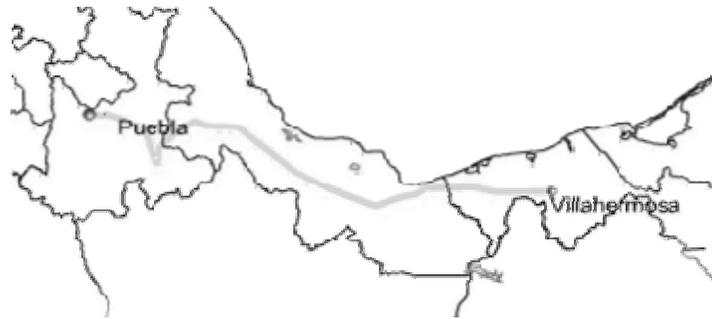
6.1.2 Rutas de tratamiento

Como se mencionó al inicio de esta propuesta, es preferible destruir los BPC en los sitios donde actualmente se encuentran, pues se evita su traslado y el riesgo asociado, y para ello es recomendable proponer rutas de tratamiento, los cuales abarcan un porcentaje importante del inventario nacional, 48% de las toneladas, 47% de los capacitores y 38% de los transformadores totales.

Ruta 6: Villahermosa [Tab.] – Puebla [Pue.]

Esta ruta abarca la zona sur de Veracruz y dos ciudades con presencia industrial de Puebla. A pesar de encontrarse más cerca de la ciudad de Tepeji del Río, las ciudades poblanas fueron integradas en esta ruta para aprovechar la empresa de Tabasco y para no tener una carga de trabajo mayor en el centro de tratamiento de Hidalgo.





Recorrido: Villahermosa → Cárdenas – Coatzacoalcos – Minatitlán - Acayucan – Cosamaloapan – Córdoba - Orizaba - Ciudad Mendoza [Ver.] - Tehuacán [Pue.] → Puebla.

Ruta	6	Acarreo		Tratamiento in situ	
		Toneladas	Otras unidades	Toneladas	Otras unidades
Dist. total (km)	Tiempo de recorrido (h)				
680	6.9	-	-	4.33 (VER)	127 c (PUE) 12 t (VER)
Empresa prestadora:		Saro de México, S.A. de C.V.			

Tabla 6.22. Características de la ruta Villahermosa - Puebla

La empresa Saro de México, S. A. de C. V. ubicada en Villahermosa utiliza procesos de degradación química-biológica empleando el producto conocido como ECOSAFE. Principalmente se encarga de dar tratamiento a residuos líquidos o en fase acuosa.

Ruta 7: Atacomulco [Edo. de Méx.] – Lázaro Cárdenas [Mich.]

La ruta de tratamiento in situ para Michoacán pretende eliminar las más de 500 toneladas que están por desincorporar en el estado, recorriendo ciudades que no se habían considerado como Uruapan o Cd. Hidalgo, además de la central hidroeléctrica de Infiernillo.



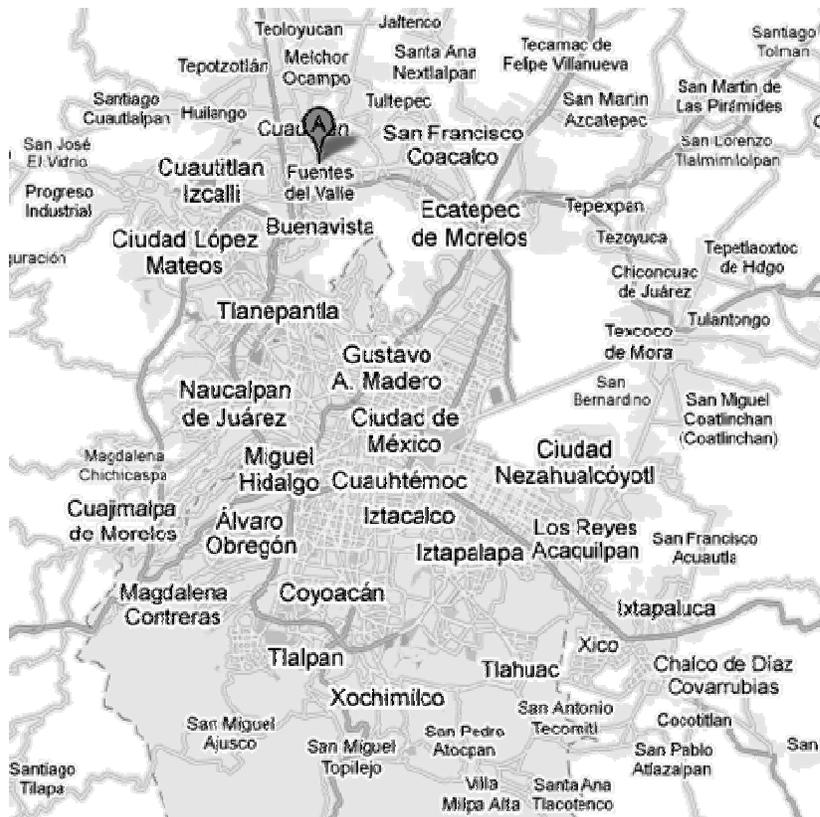
Recorrido: Atlacomulco → Zitácuaro - Cd. Hidalgo - Morelia - Uruapan- Infiernillo → Lázaro Cárdenas.

Ruta	7	Acarreo		Tratamiento in situ	
Distancia total	Tiempo de recorrido	Toneladas	Otras unidades	Toneladas	Otras unidades
km	horas	-	-	505.98 (Mich.)	-
650	8	-	-	505.98 (Mich.)	-
Empresa prestadora:		SD Myers de México S.A. de C.V.			

Tabla 6.23. Características de la ruta Atlacomulco - Lázaro Cárdenas

Ruta 8: Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)

Esta más que una ruta, es la propuesta de destino de todo el inventario de la ZMVM. Los BPC localizados en esta zona serán tratados in situ por la empresa ubicada en Tultitlán (globo A), pues geográficamente es la más cercana. Dada la naturaleza del tratamiento, las restricciones del tránsito locales, como horarios y vías autorizadas para RP, se vuelven inaplicables, entonces, la solución propuesta es llevar a Tultitlán los BPC que existan en la zona.



Ruta	8				
Distancia total	Tiempo de recorrido	Acarreo		Tratamiento in situ	
km	horas	Toneladas	Otras unidades	Toneladas	Otras unidades
-	-	-	-	107.72 (ZMVM)	60 c, 501 t (ZMVM)
Empresa prestadora:		Desechos Biológicos e Industriales, S.A. de C.V.			

Tabla 6.24. Características de la ruta de la ZMVM

La empresa Desechos Biológicos e Industriales, S.A. de C.V. (DEBISA) descontamina prácticamente cualquier tipo de material que haya estado en contacto con BPC en concentraciones elevadas, mediante el proceso denominado Descontaksol; los materiales como papel, cartón y madera se envían a disposición, el solvente utilizado es destilado y recuperado.

Mediante las rutas propuestas se pretende eliminar todo el inventario nacional de BPC en un tiempo aproximado de un año, considerando la periodicidad del transporte y el periodo de desincorporación de las 929.88 toneladas en uso así como de los 371 capacitores y los 1,314 transformadores en operación.

La capacidad en conjunto de las 23 empresas de transporte autorizado para manejo de BPC es aproximadamente 21,000 toneladas por viaje considerando el total de las flotillas disponibles.

Las rutas del norte (1-9, 11, 14 y 15) son en promedio las más largas, siendo mayor la primera con 2,285 km, claro ejemplo de que no necesariamente las rutas más prolongadas son las que abarcan la mayor cantidad de BPC.

A pesar de ser pocas, las rutas de tratamiento pueden brindar el servicio a un alto porcentaje del inventario total.

6.2 Costo-beneficio

Uno de los criterios de decisión preferidos en la actualidad es minimizar el tiempo y el costo requeridos durante el diseño, la puesta en marcha, la operación y el control de cualquier proyecto. Para las empresas prestadoras de servicios, los costos expresados en términos económicos están directamente relacionados con su modelo de negocio y con los precios que pueden presentar en el mercado, considerando cuánto se está dispuesto a pagar para cumplir con las responsabilidades ambientales correspondientes.

6.2.1. Costos directos

Para poder tomar una decisión en torno a un proyecto de ingeniería, se acostumbra basarse en la suma de los costos involucrados en el mismo. Los involucrados en cuanto a la gestión



de los BPC son básicamente costos de posesión, almacenaje, transporte, envasado, trasvasado, y los que dependen del tratamiento final que se les dará para eliminarlos, recordando que en esta propuesta se evitan tanto el acopio como la exportación.

Se tuvo que prescindir del análisis financiero del presente proyecto dado que no se obtuvieron los costos antes mencionados. Posiblemente el acceso a la información financiera de las empresas prestadoras de servicios se encuentre restringido por cuestiones de competitividad las unas respecto de las otras, o de índole legal.

Al no contar con dichos costos para el desarrollo de la propuesta, se optó por incluir el concepto de costos ambientales, así como los costos social y político.

6.2.2 Costos ambientales

Podemos entender como costos ambientales la cuantificación de los recursos naturales utilizados y deteriorados por causa de las actividades humanas, así como la cuantificación de la protección y conservación de los mismos.

La valoración de tales costos sirve para medir la utilidad o satisfacción que se obtiene por el uso o explotación de los recursos naturales y el ambiente (valor de uso). También sirve para medir el valor de los beneficios que se podrían obtener de los recursos o del medio ambiente por el sólo hecho de existir (valor de existencia). Igualmente, la valoración mide las posibles alternativas de uso y busca la mejor, teniendo en cuenta las generaciones futuras, para el aprovechamiento de los recursos naturales y del medio ambiente (valor de opción).

Si reconocemos ampliamente que los recursos naturales no son bienes libres, de oferta ilimitada, y de reposición inmediata, donde su preservación favorecerá la población presente y futura, es así como se garantizará la permanencia del hombre con posibilidades de desarrollo (Sánchez, 2003).

6.2.3 Costo social

El caso de Bélgica mencionado en el capítulo 4, nos da una idea de lo que puede causar una pequeña cantidad de BPC cuando entra en contacto con el ambiente y posteriormente con el ser humano. Se mencionó que varias personas perdieron la vida, y otros vieron mermada su salud por entrar en contacto con esta sustancia.

Es por ello que se requiere que la sociedad esté protegida, y por lo tanto informada acerca de la situación actual de los residuos peligrosos, particularmente de los BPC en el mundo, para así poder disminuir la probabilidad, y en la medida de lo posible evitar que se vuelva a suscitar un evento de tan catastróficas consecuencias.



6.2.4 Costo político

Como ya se mencionó, la economía y la sociedad se ven gravemente afectados cuando su entorno sufre un impacto negativo. El papel que juegan los gobiernos en aras de proveer un ambiente seguro para la población es de vital importancia, pues, junto con las grandes empresas, son ellos quienes tienen la posibilidad de tomar decisiones que ayuden a proteger la salud y el medio.

Cada vez más se dan las alianzas estratégicas entre empresas de giros distintos, o se presentan proyectos en los que participan simultáneamente la iniciativa privada y dependencias gubernamentales. Este comportamiento es plausible y ayuda a que las partes involucradas reduzcan sus costos individuales, además de favorecer la puesta en marcha de proyectos futuros.

6.3 Incentivos económicos

Como parte de las acciones emprendidas por la PEN, existe un programa de estímulos financieros que reconoce los esfuerzos excepcionales de los miembros de la red. Este programa incluye la publicación de los logros obtenidos por los ganadores, donde los premios se entregaran anualmente con base en la gestión ambientalmente adecuada de los BPC. Los recursos financieros destinados a los ganadores son producto de las donaciones voluntarias de los miembros de la red.

Por ser de carácter internacional existe gran competencia en torno a este reconocimiento, y su obtención dependerá del éxito y el alcance de la aplicación de las soluciones al problema que representan los BPC. Sea cual sea el resultado, el hecho de participar y de ser considerado en un concurso de esta naturaleza, realza la imagen de las empresas y les ayuda a ganar prestigio y a colocar su marca con mayor empuje en el mercado.

6.4 Beneficios

Los beneficios de tener y llevar a la práctica un plan de manejo eficiente de RP, no se traducen únicamente en el ámbito económico, sino también en el ámbito social y político, como se ha venido explicando.

En últimos tiempos se ha visto el auge de las *empresas socialmente responsables* y de las *industrias limpias*, otorgándoseles dichos reconocimientos a las compañías, tanto privadas como públicas, que realicen actividades relacionadas al cuidado del ambiente y de la sociedad. Para una empresa, el ser considerada limpia y socialmente responsable es sinónimo de calidad en sus procesos y productos, y denota interés por el factor humano, lo cual puede reeditar en aumento de la presencia de la empresa en el mercado y por consiguiente, aumento en las ganancias.



Por otra parte, en la actualidad debe ser una prioridad tanto para los gobiernos como para las empresas el ofrecer productos y servicios cuyo ciclo de vida implique el menor riesgo posible, pues, como se puede concluir después de los aspectos que ya se han explicado, el asignar una cantidad financiera a la salud o a la conservación de los ecosistemas es extremadamente difícil. Ciertamente es que ya se ha intentado (Aguirre, 2010) pero aún es difícil proponer un esquema que pueda equiparar el valor del dinero con el valor de la vida humana o el de la vida de otras especies.

Otro aspecto importante, al prescindir de la exportación, es que la generación de empleos en México, sobre todo la generación de empleos en cuanto a actividades que involucren el cuidado del ambiente y el uso de tecnología.

De esta manera, tanto las empresas poseedoras, como las de transporte y las de tratamientos se verán beneficiadas al poner en práctica la eliminación de BPC, la cual es necesaria y, aunque complicada, viable.

Podemos concluir entonces, que los puntos más importantes de esta propuesta son:

1. Es viable la pronta eliminación de los BPC en México
2. Los tratamientos existentes son eficientes
3. La capacidad de las empresas autorizadas para eliminar BPC en conjunto (37,185 toneladas/año) sobrepasa las cantidades reportadas por las empresas poseedoras (1,273.21 toneladas más otras unidades)
4. Con las rutas diseñadas, es posible eliminar los dos centros de acopio existentes en México, o por lo menos prescindir de ellos
5. La exportación como medio de eliminación de los BPC no es necesaria, pues las rutas diseñadas, además de terminar en un centro de tratamiento autorizado, evitan que se recorra una distancia adicional para llevar los BPC a los puertos
6. Al dejar de recurrir a la exportación como medio de eliminación de los BPC, se favorece la creación de empleos de carácter tecnológico y ambiental y se aprovecha la infraestructura existente en México.

Por último, el mayor impacto para las empresas será el de formar parte de un país que contribuya a la erradicación de una de las sustancias más peligrosas hasta hoy conocidas.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después de seis meses de trabajo y dedicación se llegó a las siguientes conclusiones y con base en ellas se formularon las recomendaciones que posteriormente se muestran.

CONCLUSIONES

Se ha demostrado que la eliminación de los BPC en México es viable y que se puede alcanzar en un periodo de tiempo relativamente breve (un año).

Los tratamientos existentes para la eliminación de los BPC son eficientes y han sido probados exitosamente en experiencias nacionales e internacionales. Además, la capacidad conjunta de las empresas autorizadas para eliminar BPC en México (37,185 toneladas/año) sobrepasa las cantidades reportadas por las empresas poseedoras (1,273.21 toneladas, más otras piezas).

A pesar de que existen estimaciones de fuentes diversas, sobre la existencia de una gran cantidad de equipos y residuos BPC que no han sido desincorporados, o que ni siquiera se conoce su existencia, las rutas de eliminación propuestas y las instalaciones autorizadas tienen la capacidad suficiente para adaptarse y dar el tratamiento ambiental adecuado para cumplir con las fechas de eliminación fijadas en el Convenio de Estocolmo (2028).

La incineración es, contrariamente a lo que piensan sus detractores, un método eficiente y seguro de eliminación de BPC, pues cuando es realizado de manera correcta, se evita la emisión de sustancias nocivas, tanto para el ambiente como para los habitantes de zonas cercanas a las instalaciones.

Como parte importante de la propuesta, se eliminó el acopio para así evitar un riesgo ambiental mayor, pero también se evita una potencial violación a la normatividad en cuanto a tiempos de almacenamiento, sin que se vea afectado el cumplimiento de la obligación de los poseedores de BPC.

Otra contribución importante es que, al eliminar dentro de nuestro territorio los BPC, es posible dejar de recurrir a la exportación como medio de eliminación de los BPC, eliminando así el riesgo ambiental que implica el movimiento transcontinental de RP, se generan empleos y se aprovecha la tecnología existente.

Existe un sesgo debido a los datos empleados, por lo que, para mejorar esta situación, se requiere destinar recursos humanos, tecnológicos y económicos para mejorar el inventario nacional de BPC, tanto en forma y contenido como en accesibilidad. En el momento que la información se actualice y sea accesible al público, se podrá programar la eliminación de los nuevos equipos y residuos BPC, con base en esta misma propuesta.



Una vez más ha sido comprobado que, el trabajo en equipo, aunque en esta ocasión no multidisciplinario, es requerido para abordar un problema con distintos enfoques, repartiendo tiempo y recursos y generando visiones complementarias.

RECOMENDACIONES

Como se pudo apreciar, se requiere realizar la evaluación financiera del proyecto; para ello, se deberá formar una base de datos con información oficial para poder acceder a los costos de los servicios que prestan las empresas, para que los poseedores y todos aquellos que deseen eliminar sus residuos peligrosos, puedan formular con mayor facilidad sus planes de manejo.

Actualmente, la importación de RP a México está prohibida, pero podría considerarse la opción de revisar la legislación en este ámbito para definir la viabilidad de tratar los BPC de otros países dentro del territorio nacional, pues se ha visto que el país cuenta con la tecnología adecuada y la capacidad suficiente para tratarlos.

De manera similar, puede considerarse utilizar la tecnología, las empresas y las rutas existentes para adaptarse a otros tipos de RP. Dentro de las empresas prestadoras de servicios, existen algunas que se encargan del manejo de una gran variedad de sustancias, incluidos los BPC.

El presente trabajo fue realizado por ingenieros industriales, por lo que se hace la invitación a todos los compañeros de profesión para que tomen parte en proyectos de índole ambiental y se aproveche la formación que se obtiene dentro de las aulas, pues se adquiere una visión más amplia que la obtenida en otras áreas de la ingeniería.

Se invita también a los interesados de otras disciplinas a desarrollar trabajos que fortalezcan las redes de información existentes sobre de los BPC, y sobre residuos peligrosos en general, para coadyuvar de esta forma al desarrollo sustentable de un país en crecimiento como México, que cuenta con multitud de pequeñas y medianas empresas que desconocen su posición a este respecto.



ANEXO 1. Normatividad

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)

La SCT da a conocer los requerimientos que deben cumplir las empresas de transporte, las sustancias que se podrán transportar, el tipo de envases, y demás consideraciones aplicables.

- NOM-002-SCT/2003: *Listado de las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados.*

Identificar y clasificar las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados, de acuerdo a su clase, división de riesgo, riesgo secundario, número asignado por la Organización de las Naciones Unidas, así como las disposiciones especiales a que deberá sujetarse su transporte y el método de envase y embalaje.

- NOM-003-SCT/2000: *Características de las etiquetas de envases y embalajes.*

La identificación mediante etiquetas, en envases y embalajes, es fundamental para prevenir accidentes durante el manejo y transporte de las sustancias, materiales y residuos peligrosos, así como para la pronta identificación de la naturaleza de peligrosidad de dichos productos en caso de accidentes. La Norma establece las características, dimensiones, símbolos y colores de las etiquetas que deben portar todos los envases y embalajes, que identifican la clase de riesgo que representan durante su transportación y manejo las sustancias, materiales y residuos peligrosos.

Todos los envases y embalajes destinados a transportar materiales o residuos peligrosos cuya masa neta o capacidad no exceda de 400 kg o 450 litros, respectivamente, deben portar una etiqueta o etiquetas (primarias y secundarias, según sea el caso) adheribles, impresas o rotuladas que permitan identificar fácilmente, mediante apreciación visual, los riesgos asociados con su contenido.

- NOM-004-SCT/2000: *Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos.*

Establece las características y dimensiones de los carteles que deben portar las unidades vehiculares, camiones, unidades de arrastre, autotanques, carrotanques, contenedores, contenedores cisterna, tanques portátiles y recipientes intermedios para granel y demás unidades de autotransporte y ferrocarril, a fin de identificar la clase de riesgo de las sustancias, materiales o residuos peligrosos que se transportan.

- NOM-005-SCT2/1994: *Información de emergencia para el transporte terrestre de sustancias, materiales y residuos peligrosos.*

Establece los datos y descripción de las especificaciones que debe contener la Información de Emergencia para el Transporte Terrestre de Sustancias, Materiales y Residuos Peligrosos, que indiquen las acciones a seguir para casos de incidente o accidente (fugas, derrames, exposiciones o incendios), que debe llevar toda unidad de transporte terrestre destinada al traslado de este tipo de sustancias, en un lugar visible y accesible.



- NOM-007-SCT2/2002: *Marcado de envases y embalajes destinados al transporte de sustancias y residuos peligrosos.*

Establece las características y especificaciones que se deben cumplir. Los envases y embalajes utilizados para transportar sustancias y residuos peligrosos, requieren ostentar el marcado correspondiente que garantice su integridad, a través de la superación de pruebas de laboratorio.

- NOM-010-SCT2/2003: *Disposiciones de compatibilidad y segregación, para el almacenamiento y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos.*

Establece las disposiciones de compatibilidad (factibilidad de transportar en la misma unidad vehicular, sustancias, materiales o residuos peligrosos, de diferentes clases de riesgo, sin que exista probabilidad de reacción en condiciones normales de transporte o por acontecimientos accidentales) y segregación (separación de las sustancias, materiales y residuos peligrosos, cuando representen algún riesgo en su almacenamiento o transporte) que deben aplicarse para el almacenamiento y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos, a fin de proteger la seguridad de las personas y sus bienes, así como el medio ambiente y las vías generales de comunicación.

- NOM-011-SCT2/2003: *Condiciones para el transporte de las sustancias y materiales peligrosos en cantidades limitadas.*

Establece las disposiciones a que deberá sujetarse el transporte de determinadas sustancias y materiales peligrosos (de menor riesgo), de las clases 2, 3, 4, 5, 6, 8 y 9, cuando éstos se pretendan y puedan transportarse en las cantidades limitadas especificadas en la presente Norma.

- NOM-023-SCT4-1995: *Condiciones para el manejo y almacenamiento de mercancías peligrosas en puertos, terminales y unidades mar adentro.*

Requisitos para el ingreso de mercancías peligrosas por vía terrestre, requisitos de aceptación de embarcaciones con mercancías peligrosas, asignación de áreas especiales, requisitos de operación y vigilancia.

- NOM-024-SCT2/2002: *Especificaciones para la construcción y reconstrucción, así como los métodos de prueba de los envases y embalajes de las sustancias, materiales y residuos peligrosos.*

Establece las disposiciones generales y especificaciones que deben cumplir para la construcción, reconstrucción y reacondicionamiento de los envases y embalajes que se utilizan para la transportación de sustancias, materiales y residuos peligrosos, así como los métodos de prueba a que deben ser sometidos. Los materiales y residuos peligrosos deben ser contenidos en envases y embalajes que, previa demostración mediante pruebas correspondientes, sean aptas para contener determinado material que no tengan indicios de haber sufrido cambios en su estructura y exentos de fallas o deterioros que pudieran ser causa de derrames o fugas espontáneas en su transportación. Estos deberán ser contruidos o reconstruidos y cerrados para el transporte y para prevenir cualquier fuga que pueda ser



causada bajo condiciones normales de transporte por vibración o por cambios en temperatura, humedad o presión.

- NOM-033-SCT4-1996, *Lineamientos para el ingreso de mercancías peligrosas a instalaciones portuarias.*

Establece los lineamientos que, como parte del proceso de transporte, deben regir a las mercancías peligrosas para permitir su ingreso, tanto por vía marítima como terrestre, a las instalaciones portuarias de conformidad con las Normas Oficiales Mexicanas y las regulaciones nacionales e internacionales aplicables.

La administración portuaria debe verificar que las mercancías peligrosas que se pretenda transiten por, o ingresen a una instalación portuaria, estén acompañadas, de las autorizaciones correspondientes expedidas por las autoridades competentes de acuerdo con su clase, las cantidades permisibles de las mismas, las condiciones de manejo en las instalaciones, y las facilidades disponibles para su recepción y almacenamiento. En la documentación de las mercancías peligrosas en tráfico de importación debe estar plenamente identificado el destinatario de las mismas.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)

No basta saber que las sustancias deben transportarse, sino que se debe saber qué tipo de sustancias se pretenden mover, las características de estas, y los procedimientos y restricciones que se deben cumplir para garantizar su correcta disposición, para que esta actividad no dañe al medio y a la población en general.

- NOM-052-SEMARNAT-2005, *Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.*

Norma que establece los límites máximos permisibles de sustancias para considerar peligrosos a los residuos en alguna de las características CRETIB antes descritas; clasificación de residuos resultado de procesos de productos químicos caducados; clasificación entre toxicidad aguda y crónica; clasificación de residuos con formas particulares de manejo; diagrama de identificación de residuos peligrosos y su norma aplicable.

- NOM-053-SEMARNAT-2005, *Procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.*

Se establece una metodología de muestreo para materiales donde el objetivo es determinar el porcentaje de componentes tóxicos para determinar si alcanza el grado de peligrosos, todo esto fundamentado en la NOM-52-SEMARNAT-2005. Además se especifican mecanismos de muestreo para distintos tipos de materiales y los requisitos mínimos de control de esta prueba.



- NOM-054-SEMARNAT-1993, *Establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la norma oficial mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993.*

Esta norma trata sobre la incompatibilidad definida en la misma como reacciones violentas y negativas para el equilibrio ecológico y el ambiente, que se producen con motivo de la mezcla de dos o más residuos peligrosos. Dado este riesgo latente la norma propone tablas de incompatibilidad para identificar los componentes de los residuos y así evitar mezclarlos.

- NOM-098-SEMARNAT-2002, *Protección ambiental - Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes.*

Establece las especificaciones de operación, así como los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera para las instalaciones de incineración de residuos. Los responsables de la instalación de incineración de residuos peligrosos deben presentar a la Secretaría un resultado del protocolo de pruebas, en los términos y formalidades que establece el Trámite SEMARNAT-07-012, dentro del plazo señalado en su autorización.

La última norma mencionada es de especial importancia, pues versa en específico sobre los bifenilos policlorados, sustancia alrededor de la cual gira el desarrollo del presente trabajo.

- NOM-133-SEMARNAT-2000, *Protección Ambiental, Bifenilos Policlorados (BPCs), especificaciones de manejo.*

Establece las especificaciones de protección ambiental, para el manejo de equipos, equipos eléctricos, equipos contaminados, líquidos, sólidos y residuos peligrosos que contengan o estén contaminados con bifenilos policlorados y los plazos para su eliminación, mediante su desincorporación, reclasificación y descontaminación.



Anexo 2. Hoja de seguridad (BPC o PCB)

1. Datos generales de la HDS

Fecha de elaboración	25-oct-09	Fecha de actualización	25-oct-09
Nombre o razón social de quién elaboró la Hoja de Datos de Seguridad Teresita Romero Torres			
Datos generales del fabricante o importador de la sustancia Atochem (Francia), Dead Sea Bromines/Eurobrome (Países Bajos), Ethyl Corporation, Great Lakes Chemical Corporation (EE.UU.), Tosoh, Matsunaga, Nippo (Japón).			
En caso de emergencia comunicarse a: SISTEMA DE EMERGENCIAS EN TRANSPORTE PARA LA INDUSTRIA QUÍMICA (SETIC), teléfonos: 01-800-00-214-00 del interior de la República, 5559-1588 DF y Área Metropolitana Centro Nacional de Comunicaciones (CENACOM) Protección Civil, teléfonos: 01-800-00-413-00 del interior de la República, 5550-1496, 5550-1552, 5550-1485, o 5550-4885 DF y Área Metropolitana			

2. Datos de la sustancia

Nombre químico	Bifenilos policlorados
Nombre comercial (t): transformador (c): condensador	Aceclor (t), Adkarel, ALC, Apirolio (t, c), Aroclor (t, c) (USA), Aroclor 1016 (t, c), Aroclor 1221 (t, c), Aroclor 1232 (t, c), Aroclor 1242 (t, c), Aroclor 1254 (t, c), Aroclor 1260 (t, c), Aroclor 1262 (t, c), Aroclor 1268 (t, c), Areclor (t), Abestol (t, c), Arubren, Asbestol (t, c), ASK, Askarela (t, c) (USA), Bakola, Bakola 131 (t, c), Biclor (c), Chlorextol (t), Chlorinated Diphenyl, Chlorinol (USA), Chlorobiphenyl, Clophen (t, c) (Germany), Clophen-A30, Clophen-A50, Clophen-A60, ClophenApirorlio, Cloresil, Clorphen (t), Delor (Czech Rep.), Diaclor (t, c), Dialor (c), Disconon (c), Dk (t, c), Ducanol, Duconol (c) Dykanol (t, c) (USA), Dyknol, EEC-18, Electrophenyl T-60, Elemex (t, c), Eucarel, Fenchlor (t, c) (Italy), Hexol (Russian Federation), Hivar (c), Hydol (t, c), Hydrol, Hyvollnclor, Inerteen (t, c), Kanechlor (KC) (t, c) (Japan), Kaneclor, Kaneclor 400, Kaneclor 500, Keneclor, Kennechlor, Leromoll, Magvar, MCS 1489, Montar, Nepolin, Niren, No-Famol, No-Flamol (t, c) (USA), NoFlamol Nonflammable liquid, Pheneclor, Phenoclor (t, c) (France), Phenochlor, Phenochlor DP6, Plastivar, Pydraul (USA), Pyralene (t, c) (France), Pyranol (t, c) (USA), Pyrochlor, Pyroclor (t) (USA), Saf-T-Kuhl (t, c), Saft-Kuhl, Santotherm (Japan), Santotherm FR, Santoterm, Santovac, Santovac 1, Santovac2, Siclonyl (c), Solvol (t, c) (Russian Federation), Sovol, Sovtol (Russian Federation), Therminol (USA), Therminol FR
Familia química	Compuesto orgánico polihalogenado
Sinónimos	Bifenilo clorado. Difenido clorado. Clorobifenilo. Bifenilopoliclorado. Policlorobifenilo. BPC Se considera BPC las siguientes sustancias: Nº CAS: 1336-36-3 Policlorobifenilos, NºCAS: 61788-33-8 Policloroterfenilos, Monometiltetraclorodifenilmetano, Monometildiclorodifenilmetano, Monometildibromodifenilmetano
Fórmula química	$C_{12}H_{(10-n)}Cl_n$ donde n es mayor a 2, principalmente 3-7. En caso de que n=1 los bifenilos son monoclorados.
Otros datos relevantes	Impermeabilizante de superficies de madera y cemento; fluidos hidráulicos y lubricantes para cortar.



3. Identificación de la sustancia

3.1. Identificación	
N° CAS	1336-36-3
N° ONU	2315
LMPE-PPT	1mg/m3
LMPE-P	No determinado
LMPE-CT	No determinado
IPVS (IDLH)	No determinado
3.2. Clasificación de los grados de riesgo	
A la salud	N/D
De inflamabilidad	N/D
De reactividad	N/D
Especial	

4. Propiedades físicas y químicas

Temperatura de ebullición	320-420 °C
Temperatura de fusión	N/D
Temperatura de inflamación	N/D
Temperatura de autoignición	N/D
Densidad	1.2 – 1.6 g/cm ³
pH	N/D
Peso molecular	189-499 g
Estado físico	Sólido o líquido
Color	De blanco a amarillo claro
Olor	N/D
Velocidad de evaporación	N/D
Solubilidad en agua	Insoluble
Presión de vapor	Menos de 1 mm Hg a 30°C
Porcentaje de volatilidad	N/D
Límites de inflamabilidad o explosividad	
Superior	N/D
Inferior	N/D
Otros datos relevantes	En teoría existen 209 compuestos individuales o congéneres, de los cuales alrededor de 130 están presentes en productos comerciales que contienen BPC.

5. Usos

5.1. Usos Generales
Diferentes usos industriales en sistemas de refrigeración y en la industria eléctrica (condensadores y transformadores)
5.2. Sectores económicos mexicanos en los que se utiliza
Industria

6. Riesgos de fuego o explosión

6.1. Medio de extinción	
Agua	Si
Espuma	Si
CO ₂	Si
Polvo químico	Si
Otros	
6.2. Equipo de protección personal específico a usar en extinción de incendios	



Equipo de protección química con sistema de respiración autónomo.
6.3. Procedimiento y precauciones especiales durante el combate de incendios
Evacuar el área.
6.4. Condiciones que conducen a otro riesgo especial
N/D
6.5. Productos de la combustión que sean nocivos para la salud
Pueden generar dioxinas y furanos, que son 100 veces más tóxicos que los BPC

7. Datos de reactividad

7.1. Condiciones de
Estabilidad: Son termoestables y resistentes a la oxidación, los ácidos, las bases y otros agentes químicos.
Inestabilidad: Inertes químicamente
7.2. Incompatibilidad
Inertes químicamente
7.3. Productos peligrosos de la descomposición
Dioxinas y furanos clorados
7.4 Polimerización espontánea
No ocurre
7.5. Otras condiciones que se deben procurar durante el uso de la sustancia a fin de que no reaccione
Inertes químicamente

8. Datos de corrosividad

8.1. Condiciones de corrosividad
No corrosivo

9. Riesgos a la salud y primeros auxilios

9.1 Según vía de ingreso al organismo	
Ingestión: Dolor de cabeza, mareos, depresión y fatiga. Primeros auxilios: En caso de ingestión hacer vomitar a la persona si se halla consciente	
Inhalación: Dolor de cabeza, mareos, depresión y fatiga. Primeros auxilios: En caso de intoxicación respiratoria, se debe transportar a la persona a un lugar ventilado y libre de contaminación. Si presenta síntomas de falta de actividad respiratoria se deben practicar las maniobras de respiración artificial. Aplicar oxígeno a ser posible y mantenerla caliente, mientras se realiza el traslado a un centro sanitario.	
Contacto: Acne Primeros auxilios: limpieza de la piel con agua y jabón abundantes.	
9.2. Sustancia química considerada como	
Carcinógena	Los bifenilos policlorados son probablemente carcinógenos en seres humanos. Existe alguna evidencia de cáncer en la piel de seres humanos causan y se ha comprobado cáncer en el hígado en animales
Mutagénica	Probablemente mutagénico
Teratogénica	Se han demostrado efectos teratogénicos en animales
9.3 Información complementaria	



CL ₅₀	N/D	DL ₅₀ (Aroclor, nombre de la mezcla comercial)	Aroclor 1254 (oral) rata: 4 a 10 g/kg (Kimbrough et al, 1972) Aroclor 1254 (oral) ratas: 1010 - 1295 mg/kg Aroclor 1254 (oral) ratas: 4000 mg/kg Aroclor 1254 (intravenosa) rata: 358 mg/kg Aroclor 1242 (oral) ratas: 4250 mg/kg Aroclor 1260 (oral) ratas: 1315 mg/kg Aroclor 1221 (oral) ratas: 750 – 1000 mg/kg Aroclor 1242 (oral) ratas: > 3000 mg/kg Aroclor 1254 (piel) ratones sin pelo: 2273 mg/kg Aroclor 1242 (piel) conejos: 794 - 1269 mg/kg Aroclor 1221 -1262 (piel) conejos: 1260 - 3169 mg/kg Aroclor 1232 -1260 (piel) conejos: 1200 - 2000 mg/kg
Medidas precautorias en caso de			
Ingestión: No se debe comer, beber, fumar o usar artículos de higiene personal en los locales donde se trabaja con PCBs. NO llevar a casa la ropa de trabajo.			
Inhalación: En caso de ser absolutamente necesaria su manipulación, además de los EPP ya mencionados debe usarse una máscara contra vapores con filtro orgánico, código B norma DIN 3181 o máscara autónoma.			
Contacto: En contacto directo se deben usar gafas de seguridad, protector facial, guantes a base de polivinilo (PVA), botas o zapatos con suela sintética y ropas protectoras (delantal no absorbente desechable). No deben ser usados EPP a base de caucho. La ropa no debe ser reutilizada; debe desecharse.			
9.4.Otros riesgos o efectos a la salud			
N/D			
9.5. Antídotos			
No hay antídoto específico			
9.6. Otra información importante para la atención médica primaria			
Tratamiento sintomático			

10. Indicaciones en caso de fuga o derrame

10.1 Procedimiento y precauciones inmediatas	
Fugas y derrame:	Deben ser recogidos en un contenedor hermético, debidamente identificado y empleando una técnica adecuada para evitar la propagación a otros lugares. Para las tareas de recogida se utilizarán ropas impermeables y resistentes a cáusticos, guantes de protección especial para productos químicos, protección de vías respiratorias y protección ocular.
10.2. Método de mitigación	
Agua, CO ₂ , Polvo químico, espuma	

11. Condiciones de transporte de acuerdo con

11.1. El Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos	
Frases R: 33-50/53 Frases S: (2-)35-60-61 Símbolos: Xn, N,	Límites de concentración C>=0,005% Xn R33.
11.2. NOM-004-SCT2-2000	
11.3. Recomendaciones de la Organización de las Naciones Unidas para el Transporte de Mercancías Peligrosas	
No transportar con alimentos y piensos	



11.4. La guía Norteamericana de Respuesta en Casos de Emergencia

Guía: 171

12. Precauciones especiales para

12.1. Su manejo y almacenamiento

El almacenamiento es necesario en el manejo de desechos con BPC pero no es una opción a largo plazo. Los residuos y equipo contaminado con BPC deben almacenarse en condiciones adecuadas y reglamentadas, antes de su expedición o tratamiento/destrucción. Los contenedores deben ser totalmente herméticos y estar en un lugar bien ventilado y protegido de la acción de materiales oxidantes o corrosivos. La zona de almacenamiento deberá establecerse sobre una base sólida e impermeable revestida de un compuesto obturador y estar bajo techo. Las zonas donde se almacenen barriles y equipos que contengan BPC deberán estar protegidas contra la entrada de agua.

12.2. Otras precauciones

Todos los artículos almacenados estarán claramente etiquetados y debidamente identificados.

13. Condiciones de disposición

Incineración: La incineración en hornos rotativos y hornos de cemento es apta para aceites, residuos del proceso de separación y equipos con desechos que contienen BPC. Este método presenta elevada eficiencia de destrucción, cumple con los requisitos legales, aplica para todas las series y desechos de BPC. **Reducción química en fase gaseosa:** El hidrógeno reacciona con los BPC a altas temperaturas y bajas presiones, produciendo metano y ácido clorhídrico. Este método lo aplican en Australia, Canadá, EE.UU. y Japón.

Reducción con sodio: Los BPC se reducen con sodio metálico dispersado en aceite mineral. La aplica Francia, Alemania, Reino Unido, Holanda, Japón, Sudáfrica, Australia, EE.UU, Arabia Saudita y Nueva Zelanda.

Declaración catalítica: Los BPC reaccionan con un álcali hidróxido metálico, un donante de hidrógeno y un catalizador produciendo sales, agua y un residuo carbonoso. Este método se aplica a BPC líquidos. Los aceites declarados resultantes se puede utilizar para otros fines tales como lubricación; se aplica en Australia, USA, México, Nueva Zelanda, Japón y España (el País Vasco tiene una planta).

14. Información sobre ecología

14.1. Afectaciones al agua, aire, suelo, fauna

Los BPC con cinco o más átomos de cloro son bastante resistentes a la biodegradación, pero la fotólisis puede producir una rotura de las moléculas de BPC de mayor contenido en cloro. La media vida del producto en el suelo es de 5 años. El factor de bioconcentración en peces y crustáceos es de 270,000. La DL₅₀ en peces es de 3-3,000 mg/litro, en los crustáceos de 10-2400 mg/litro (muy sensibles al Aroflor 1254). La concentración admisible en el agua para proteger la vida acuática es de 30 mg/litro.

15. Referencias

ToxFAQs™ Polibromobifenilos (Polybrominated Biphenyls), http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts68.html, fecha de consulta: 25-oct-09

Documentos de orientación para la toma de decisiones. Bifenilos policlorados, <http://www.cepis.ops-oms.org/bvstox/e/fulltext/crocitolita/crocitolita.pdf>, fecha de consulta: 25-oct-09

BIFENILOS POLICLORADOS, http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/Materiales%20y%20Actividades%20Riesgosas/residuos peligrosos/bpc/inf_tecnica.pdf, fecha de consulta: 25-oct-09

PCB. Ficha toxicológica, http://www1.minambiente.gov.co/viceministerios/ambiente/dir_des_sect_sostenible/cop/documentos/Fichas%20toxicol%C3%B3gicas%20COP/PCBs_R.pdf, fecha de consulta: 25-oct-09



Anexo 3. Lista de contactos

Empresas prestadoras de servicio de transporte de BPC

Razón Social	Dirección y No. Telefónico	Estado	Municipio
Futuro Energético, SA de CV	Av. Altillo No. 10 – B Depto. 103, Col. Villa Coapa, C.P. 14930, Tel: 26 08 95 82	D.F.	Tlalpan
M.R.P. Polaris Autotransportación, SA de CV	Calle Rosario NO. 26, Col. Santa Bárbara, CP 02200, Tel: 53 83 22 42	D.F.	Azcapotzalco
Tractofletes Especializados, SA de CV	Carretera Tula – Refinería km 3 No. 25, Col. El Llano Primera Sección, CP 42820, Tel: 01 77 37 32 92 04	Hidalgo	Tula de Allende
Miguel Pintor Martínez	Calle Huizache No. 18, Unidad Habitacional Antonio Osorio de León, C.P. 42970	Hidalgo	Atitalaquía
TRANSPAC, S:A De C.V.	Miguel Hidalgo No. 59, Col. El Llano Primera Sección Tula Hidalgo. C.P. 42800 Telefonos: 01 773 73 29204, 018007156789	Hidalgo	Tula de Allende
Desperdicios y Recuperaciones Industriales de México, S.A. de C.V.	Carretera Tenayuca Tlalnepantla No. 157, Col. Ahuehuetes, CP 54150, Tel: 53 89 76 57	México	Tlalnepantla
Juan Pérez Ortiz	Av. Hidalgo No. 620, Col. Santa María Tulpetlac, CP 55400, Tel: 57 79 2354	México	Ecatepec
S D Myers de México, S.A: de C.V.	Benito Juárez No. 102 Col. San Lucas Tepetlaco C.P. 54050 Tel. 53617778	México	Tlalnepantla
Class Chemical, S.A. de C.V.	Vía Dr. Gustavo Baz No. 307 P-A, Col. Echeagaray, CP 53310, Tel: 53 73 54 30	México	Naucalpán de Juárez
Grupo Proyecto Vida, SA de CV	Otumba No. 39, Col. La Loma, CP 54070, Tel: 16 65 69 23	México	Tlalnepantla
José Cuauhtémoc Olvera Mánriquez	Av. Mario Colín Sánchez No. 20 Col. Atlavilla, C.P. 50450	México	Atlacomulco
Comisión Federal de Electricidad	Calle Av Ventura Puente No. 1653 Col. Viveros C.P. 58290	Michoacán	Morelia
Carel Express, S.A. de C.V.	Carretera a Reynosa Km 39, 67480, Tel. 01 82 82 82 42 03	Nuevo León	Cadereyta Jiménez
Transportadora Integral de Carga, S.A. de C.V	Carretera a Reynosa Km 39, 67480, Tel. 01 82 82 82 42 03	Nuevo León	Cadereyta Jiménez



Esquemas Logísticos, SA de CV	Carretera Monterrey Monclova km 4.9, Tel: 82 39 00 30	Nuevo León	Escobedo
Transportación Carretera, S.A. de C.V.	Ejercito Republicano No. 139, Int. 30, Col. Carretas, Tel: 01 (800) 71 56 789 / 01 (773) 732 92 04	Querétaro	Querétaro
T.D.R. Transportes, S.A. de C.V	Ave. México No. 10, Col. Palo Alto, El Marqués, Tel: (442) 227 3100	Querétaro	El Marqués
Transportes Especializados Jeomara, S.A. de C.V.	Avenida Acacias Lote 3 Manzana 10 Cd. Industrial Bruno Pagliai 91697 Tejería; Tel: (229) 9-89-02-11	Veracruz	Veracruz
Fletera Continental de Líquidos, S.A. de C.V.	Dom. Con. Rancho Santa Tecla s/n, Congregación Tlacotengo C.P. 94470; Tel. (271)7-16-08-83, Fax(271)7-16-10-22	Veracruz	Fortín
Rafael Ramírez Agama	Calle Arenas No. 452 manzana 47 lote 20 B Fraccionamiento Laguna Real Tel: (55) 25.85.43.53; 25.85.43.55	Veracruz	Veracruz

Empresas de autorizadas para acopio de BPC

Razón Social	Dirección y No. Telefónico	Estado	Municipio
Residuos Industriales Multiquim, SA de CV	Parcela No. 1-A, Ejido de San José de García, Camino a San José de García s/n km 2.5, Carretera Silao Romita, Tel. (81) 81 52 21 00 (Oficina en Garza García, Nuevo León)	Guanajuato	Silao
SemTredi, S.A. de C.V.	Rancho San Isidro Lote 2, Parque Industrial Salamanca, Tel: 52 55 45 10	Guanajuato	Salamanca
Erika Contreras Casillas	Verano s/n, Col. Las Brisas, CP 55885 Notificar en Polonia No. 8, Col. Olímpica 68, Ecatepec. Tel. Acolman 5557900789 Ecatepec 5524537028	México	Acolman
Residuos Industriales Multiquim, SA de CV	Carlos B. Zetina 401 A Fracc. Industrial Xalostoc. Tel. 55 57469480 AL 84	México	Ecatepec



Empresas autorizadas para el tratamiento de BPC

Razón Social	No. Telefónico	Estado	Municipio
Desechos Biológicos e Industriales, S.A. de C.V.	Tel. (0155) 5888-0024 y (0155) 5888-1517	Estado de México.	Tultitlán
Ferropack, S.A de C.V. (Antes Química Técnica Avanzada, S.A. de C.V.)	Tel. (0181) 8865-2386	Nuevo León	San Nicolás de los Garza
Residuos Industriales Multiquim, S.A. de C.V	Tel. (0155) 5245-2361 y (0155) 2624-2133 al 40	Nuevo León.	Mina
S.D. Myers de México, S.A. de C.V	Tel. (0155) 5361-7668 y (0155) 5361-7778	Estado de México.	Atzacmulco
SemTredi, S.A. de C.V.	Tel: (0155) 5543-2677 y (0155) 5543-2579	Guanajuato	Salamanca
Sistemas Integrales en el Manejo de Residuos Industriales, S. de R.L	Tel. (0155) 5682-5432	Hidalgo	Tepeji del Río de Ocampo
Saro de México, S.A de C.V.	Tel. (0199) 3315-2440	Tabasco	Villahermosa

Empresas recolectoras y exportadores de BPC

Empresa	Pais	Empresa Recolectora y Exportadora	Actividades autorizadas
ABB ServiceGmbH	Alemania	ABB México, S.A. de C.V. Atn. Andreas H. Vollmer Oelmeyer. Tel. (5)328-140	Cuantificar y transvasar BPC líquidos, así como compactar, desensamblar, empaquetar y estibar envases y equipos que contuvieron BPC in situ.
ARG	España	Chemel, S.A. de C.V. Atn. Ing. José Manuel Avelar Tel (5) 524 3960	Cuantificar y transvasar BPC líquidos, así como compactar, desensamblar, empaquetar y estibar envases que contuvieron BPC in situ.
TREDI	Francia	Sem-Tredi, S.A. de C.V. Atn. Ing. Arturo Escorcía Tel. (0155) 5255-4510	Cuantificar y transvasar BPC líquidos, así como compactar, desensamblar, empaquetar y estibar envases que contuvieron BPC in situ.



GLOSARIO

BPC: Bifenilos policlorados

CRETIB: Condiciones para considerar a un residuo peligroso: Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable, Biológico Infeccioso.

INE: Instituto Nacional de Ecología.

LGEEPA: Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

LGPGIR: Ley General para Prevención y Gestión Integral de los Residuos

PROFEPA: Procuraduría Federal de Protección al Ambiente.

RLGPGIR: Reglamento de la Ley General para Prevención y Gestión Integral de los Residuos.

RP: Residuos Peligrosos.

RBI: Residuos Biológico Infecciosos.

SEMARNAT: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SCT: Secretaría de Comunicaciones y Transportes



MESOGRAFÍA

- Acosta y Asociados, “Diagnóstico nacional de bifenilos policlorados en México – Reporte final”, preparado para el Instituto Nacional de Ecología No. INE/AD-084/2001, Proyecto INE-1/01, Agua Prieta, Sonora, México, abril, **2003**.
- Adame-Rodríguez, Juan Manuel, Ramos-Alfano, G., Rivera-Morales, Lidia Guadalupe y García-Salas Juan Antonio, “Regulación e implicaciones de los bifenilos policlorados”, Revista Salud Pública y Nutrición, Vol. 5, No. 1, Enero – Marzo, <http://www.respyn.uanl.mx/v/1/ensayos/bpc.htm>, disponible el 1 de octubre de **2009**.
- Ángeles, África; “Acondicionamiento y manejo in situ de BPCs”, Corporativo de Servicios Ambientales (CORSA), “Taller internacional de Bifenilos Policlorados, México, **2009**.
- Aguirre Saldívar, Rina, Comunicación personal, 12 de abril de **2010**.
- Antún Callaba, Juan Pablo, “Logística: Una visión sistémica”, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, **1994**.
- Barrios, Mónica, “¿Qué es el costo ambiental?”, Anales de la educación común, tercer siglo, año 3, número 8, octubre, Dirección General de Cultura y Educación de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, **2007**.
- Belmont Reyes, Osvaldo R., “Actualización sobre la Estrategia de eliminación de bifenilos policlorados”, disponible en el portal electrónico del INE, http://www.ine.gob.mx/descargas/sqre/foro_cops_3_pon_o_belmont.pdf, 10 de febrero de **2009**.
- Bejarano G., Fernando, “Papel de la Sociedad Civil Organizada para la Gestión y Eliminación de PCB”, Centro de Análisis y Acción en Tóxicos y sus Alternativas (CAATA), diciembre, **2009**.
- Berkström, Adam; “Reciclaje BPCs in situ”, Swede Craft, Taller Internacional de Sistemas de Gestión y de. Tecnologías de Destrucción de Bifenilos Policlorados, México, **2009**.
- Bronson, Richard, “Teoría y problemas de investigación de operaciones”, Serie de compendios Schaum, McGraw-Hill, EE.UU., **1983**.
- Cancer in Illinois, “Polychlorinated biphenyls (PCBs)”, Illinois Department of Public Health, Division of Environmental Health, U.S.A., <http://www.idph.state.il.us/cancer/factsheets/polychlorinatedbiphenyls.htm>, disponible el 3 de octubre de **2009**.
- Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública, “Definición”, en *Transportes*, <http://www.diputados.gob.mx/cesop/>, disponible el 23 de enero de **2010**.
- Cortinas de Nava, Cristina, “Bifenilos policlorados en México”, http://siscop.ine.gob.mx/descargas/diagnos/diag_bifenilos_policlorados_en_mexico.pdf, disponible el 1 de octubre de **2009a**.



- Cortinas de Nava, Cristina, “Plan de acción para la eliminación de bifenilos policlorados: Precisión del inventario”, disponible en el portal electrónico del INE, http://www.ine.gob.mx/descargas/sqre/foro_cops_3_pon_c_cortinas.pdf, 10 de febrero de **2009b**.
- Cortinas de Nava, Cristina y Vega Gleason, Sylvia, “Residuos peligrosos en el mundo y en México”, Serie Monografías No. 3, Instituto Nacional de Ecología (INE), Secretaría de Desarrollo Social, México, **1993**.
- Estrella Cubillas, Ana Matilde, “Enfoque de sistemas”, Instituto Tecnológico de Sonora, http://biblioteca.itson.mx/oa/ciencias_administrativa/oa3/enfoque_sistemas/index.htm disponible el 23 de enero de **2010**.
- Estrucplan, “Salud, seguridad y medio ambiente en la industria”, <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/imprimir.aspIdEntrega=709>, disponible el 22 de enero de **2010**.
- Flores Ramírez, Alfonso; “Gestión de los Bifenilos Policlorados (BPCs) en México”, SEMARNAT, Taller Internacional de Sistemas de Gestión y de Tecnologías de Destrucción de Bifenilos Policlorados, México, **2009**.
- García Cuadrado, Amparo, “Notas sobre la teoría general de sistemas”, Revista general de información y documentación, Vol. 5, no. 1, Facultad de Ciencias de la Documentación, Universidad Complutense de Madrid, España, **1995**.
- García Robles, Sergio, “Apuntes de Temas Selectos de Logística y Sistemas”, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, **2009**.
- Garrido, Rodrigo, “Hazardous Waste Logistics: Strategic and Tactical Decisions”, Departamento de Ingeniería de Transporte, Pontificia Universidad Católica de Chile, <http://www.ing.puc.cl/~ict3412/Hazmat-Garrido.ppt>, disponible el 24 de enero de **2010**.
- Garrido Cruz, Roberto; “Incineración de alta eficiencia para BPCs México”, Neutechnik, Taller Internacional de Sistemas de Gestión y de Tecnologías de Destrucción de Bifenilos Policlorados, México, **2009**.
- Henríquez, Silverio, “El Transporte marítimo de materiales peligrosos”, Pacific Nuclear Transport Limited, Reino Unido, **2003**.
- INEGI, “Carreteras”, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México, <http://cuentame.inegi.gob.mx/economia/terciario/transporte/carreteras.aspx>, disponible el 24 de enero de **2010a**.
- INEGI, “Transporte marítimo”, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México, <http://cuentame.inegi.gob.mx/economia/terciario/transporte/maritimo.aspx>, disponible el 24 de enero de **2010b**.



- Kahn Ribeiro, Suzana; Kobayashi, Shigeki; Beuthe, Michel; Gasca, Jorge; Greene, David; Lee, David S.; Muromachi, Yasunori; Newton, Peter J.; Plotkin, Steven; Sperling, Daniel; Wit, Ron y Zhou, Peter J., “Transport and its infrastructure”, en *Climate Change 2007: Mitigation*, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, **2007**.
- Marín Pinillos, Benito, “Apuntes de Investigación de operaciones I”, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, **1994**.
- Martínez, Javier; Mallo, Marisol; Lucas, Rosario; Álvarez Jacqueline; Salvarrey, Ana y Gristo, Pablo, “Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos”, Centro Coordinador del Convenio de Basilea para América Latina y el Caribe, Montevideo, Uruguay, Septiembre, **2005**.
- MMA, "Technical Guidelines on Waste Comprising or Containing PCBs, PCTs and PBBs (Y10)", Ministerio del Medio Ambiente, República de Colombia, 2001, http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/basilea/CONVENIO/Guia%20tecnica%20sobre%20desechos%20de%20PCBs.pdf, disponible el 1 de octubre de **2009**.
- Morales Baca, Víctor; “Destrucción de BPCs por arco de plasma México”, CYDSA División Química, Taller Internacional de Sistemas de Gestión y de Tecnologías de Destrucción de Bifenilos Policlorados, México, **2009**.
- Mozer, Frank; “Status del convenio de Estocolmo”, Secretaría del convenio de Estocolmo, Taller Internacional de Sistemas de Gestión y de Tecnologías de Destrucción de Bifenilos, México, **2009**.
- Páez Moreno, Fernando; “Almacenamiento de BPCs”, Residuos Industriales Multiquim, S.A: (RIMSA), Taller Internacional de Sistemas de Gestión y de Tecnologías de Destrucción de Bifenilos Policlorados, México, **2009**.
- Petrlik, Jindrich y Khwaja, Mahmood; “Alternativas para la disposición de compuestos orgánicos persistentes”, Arnika Association - Programa de Tóxicos y Residuos, Praga, República Checa, **2009**.
- Pierdant, Norah; “Destrucción de BPCs in situ”, FRALMA Technologies Inc., Taller Internacional de Sistemas de Gestión y de Tecnologías de Destrucción de Bifenilos Policlorados, México, **2009**.
- Popoff, Frank y Buzzelli, David, “Contabilidad de costos ambientales, un nuevo paradigma para la industria”, Ambiente y desarrollo, Vol. IX, no. 1, marzo, Centro de investigación y planificación del medio ambiente (CIPMA), Santiago, Chile, **1993**.
- PROFEPA, “Del poseedor, transportista y empresa que presta el servicio para manejo de bifenilos policlorados”, Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, <http://www.profepa.gob.mx/PROFEPA/InspeccionIndustrial/DerechosyObligacionesenm>



ateriadeInspeccionIndustrial/Enmateriaderesiduos peligrosos/DelPoseedorTransportistay ManejodeBPC/, disponible el 1 de noviembre de 2009.

- PVEM, “Punto de acuerdo sobre askareles”, Grupo Parlamentario del Partido Verde Ecologista de México, punto de acuerdo presentado a la LX Legislatura del Senado de la República, México, el 24 de abril de 2007, <http://www.pvem.senado.gob.mx/acuerdo/a240407AE1.html>, disponible el 1 de octubre de 2009.
- Real Academia de la Lengua Española (RAE), “Logística”, http://buscon.rae.es/drael/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=logitica, disponible el 23 de enero de 2010.
- Recicladora Temarry de México, S. A. de C. V., "Residuos Industriales Peligrosos en México: Políticas, Inversiones e Infraestructura", elaborado conjuntamente con la Asociación Mexicana para el Control de los Residuos Sólidos y Peligrosos A. C. (AMCRESPAC), Cuadernos de trabajo, No. 6, abril, 2008, http://www.temarry.com/Espanol/residuos_industriales1.htm, disponible el 1 de noviembre de 2009.
- Ruiz Aguilar, Graciela; Fernández Sánchez, José Manuel y Rodríguez Vázquez, Refugio, “Residuos peligrosos: grave riesgo ambiental”, Avance y perspectiva, Vol. 20 Mayo, México, 2001.
- Salvat Editores, S.A., “Los transportes”, Biblioteca Salvat de Grandes Temas, Barcelona, España, 1973.
- Sánchez C., John Jairo, “Algunas consideraciones de los costos medioambientales en los procesos productivos”, Escuela de Tecnología Industrial, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, julio, 2003.
- SCT, “Ley del Registro Público Federal”, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México, 2004.
- Secretaría del Convenio de Basilea, Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, 22 de marzo 1989.
- Secretaría del Convenio de Estocolmo, Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, 22 de mayo de 2001.
- Secretaría del Convenio de Róterdam, Convenio de Róterdam sobre el procedimiento de consentimiento fundamentado previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional, 10 de septiembre de 1998.
- Secretariat of the Basel Convention, “Training Manual for the preparation of a national Environmentally Sound Management plan for PCBs and PCB-contaminated equipment in the framework of the implementation of the Basel Convention”, Châtelaine, Suiza, Marzo, 2003.
- SEMARNAT, “Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos”, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, 2003a.



- SEMARNAT, “Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos”, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, **2003b**.
- SEMARNAT, “Reglamento para el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos”, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, **2003c**.
- SEMARNAT, “Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes”, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, **2005**.
- SEMARNAT, “Guía para la importación y exportación de residuos en México”, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, **2007a**.
- SEMARNAT, “Ley General del Equilibrio y la Protección al Ambiente”, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, **2007b**.
- SEMARNAT, “Autorizaciones otorgadas en materia de residuos peligrosos”, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Gestión Ambiental, Dirección de Materiales y Actividades Riesgosas, Residuos Peligrosos, <http://www.semarnat.gob.mx/tramitesyservicios/resolutivos/Materiales%20y%20actividades%20riesgosas/rubro3.pdf>, disponible el 1 de noviembre de **2009a**.
- SEMARNAT, "Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas", Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, <http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/materialesyactividadesriesgosas/Pages/residuospeligrosos.aspx>, disponible el 1 de noviembre de **2009b**.
- SEMARNAT, “Generación”, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Gestión Ambiental, Dirección de Materiales y Actividades Riesgosas, Residuos Peligrosos, <http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/Materiales%20y%20Actividades%20Riesgosas/residuospeligrosos/generadores/generacion.pdf>, disponible el 1 de noviembre de **2009c**.
- SEMARNAT, “Infraestructura nacional para tratar bifenilos policlorados”, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, <http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/Materiales%20y%20Actividades%20Riesgosas/residuospeligrosos/bpc/contenido.pdf>, disponible el 20 de febrero de **2010a**.
- SEMARNAT, “Inventario nacional de BPCs”, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, <http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/Materiales%20y%20Actividades%20Riesgosas/residuospeligrosos/bpc/contenido.pdf>, disponible el 20 de febrero de **2010b**.
- SEMARNAT, “Rubro 1: Manejo de residuos peligrosos industriales” <http://www.semarnat.gob.mx/tramitesyservicios/resolutivos/Pages/materialesyactividadesriesgosas.aspx>, disponible el 20 de febrero de **2010c**.
- SEMARNAT, “Rubro 2: Importación y exportación de residuos peligrosos” <http://www.semarnat.gob.mx/tramitesyservicios/resolutivos/Pages/materialesyactividadesriesgosas.aspx>, disponible el 20 de febrero de **2010d**.



- Smeets, Michael, "Incineración BPCs Francia", Trede Group Seche Environnement, Taller Internacional de Sistemas de Gestión y de Tecnologías de Destrucción de Bifenilos Policlorados, México, **2009**.
- Subgrupo Especial de Trabajo BPC en conjunto con La Comisión para la Cooperación Ambiental, "Plan Regional de Acción BPC Proyecto de Manejo Racional de Sustancias Químicas", Montreal, Canadá, diciembre, **1996**.
- Sussman, Joseph, "Introduction to Transportation Systems", Artech House Inc., Massachusetts, EE.UU., **2000**.
- Teorema ambiental, revista técnico ambiental, "No hay un inventario seguro sobre los Askareles" Agosto 1, http://www.teorema.com.mx/contaminacion_/no-hay-un-inventario-seguro-sobre-los-askareles/, disponible el 1 de octubre de **2009**.
- TransEquipos, Diagnóstico y Mantenimiento, "Los Askareles o PCB's: Notas técnicas", http://www.transequipos.com/es/pdf_es/askareles.pdf, disponible el 1 de octubre de **2009**.
- Ugalde, Vicente, "Los residuos peligrosos en México: El estudio de la Política Pública a través del derecho", El Colegio de México, Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales, 1ª Ed., México, **2008**.
- United States Department of Health and Human Services, "Toxicological Profile for Polychlorinated Biphenyls (PCBs)", Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, noviembre, 2000, <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp17.pdf>, disponible el 1 de octubre de **2009**.
- United States Department of Labor, Occupational Safety & Health Administration (OSHA), "Safety and Health Topics, Hazardous Waste", <http://www.osha.gov/SLTC/hazardouswaste/index.html>, disponible el 17 de septiembre de **2009**.
- United States Environmental Protection Agency (EPA), "Wastes – Hazardous Waste", <http://www.epa.gov/epawaste/hazard/index.htm>, fecha de consulta: 4 de septiembre de **2009**.
- United States National Library of Medicine, Tox Town, Inquietudes de salud ambiental y sustancias químicas tóxicas en su lugar de residencia, trabajo y diversión, "Bifenilos policlorados (BPCs)", <http://toxtown.nlm.nih.gov/espanol/chemicals.php?id=38>, disponible el 1 de octubre de **2009**.
- Valle, Esteban y Cruz, María Guadalupe, "Problemática de los bifenilos policlorados (BPC) en México", Boletín IIE, septiembre – octubre, 1997, <http://www.iie.org.mx/publica/bolso97/tec2so97.htm>, disponible el 1 de octubre de **2009**.
- Van Gigch, J. P., "Teoría General de Sistemas", Trillas, 2ª edición, México, **1987**.
- Zaror Zaror, Claudio Alfredo, "Introducción a la Ingeniería Ambiental para la Industria de Procesos", Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción, Chile, **2000**.



LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tablas

- 2.1. Obligaciones de generadores de residuos peligrosos de acuerdo a su categoría
- 2.2. Normatividad en el manejo de RP
- 3.1. Principales nombres comerciales, empresas y países fabricantes de BPC.
- 3.2. Principales aplicaciones de los BPC
- 3.3. Usos industriales de los BPC (1924-1975).
- 3.4. Clasificación de materiales y residuos por concentración de BPC
- 3.5. Fechas límite de eliminación de BPC según NOM-133-SEMARNAT-2000.
- 3.6. Límites máximos permisibles para emisiones de BPC al ambiente en tratamientos térmicos, químicos y biológicos.
- 5.1. Inventario estatal de BPC.
- 5.2. Regiones de estudio
- 5.3. Concentración regional de BPC.
- 5.4. Resumen de inventario BPC
- 5.5. Transporte autorizado de BPC.
- 5.6. Acopio autorizado de BPC.
- 5.7. Empresas autorizadas para tratamiento de BPC.
- 5.8. Empresas autorizadas para exportación de BPC.
- 6.1. Características de la ruta Lázaro Cárdenas – Mina
- 6.2. Características de la ruta Tijuana - Mina
- 6.3. Características de la ruta Huatabampo – Mina
- 6.4. Características de la ruta Hermosillo - Mina
- 6.5. Características de la ruta Cd. Juárez – Mina
- 6.6. Características de la ruta Hidalgo del Parral – Mina
- 6.7. Características de la ruta Cd. Acuña – Mina
- 6.8. Características de la ruta Piedras Negras – Mina
- 6.9. Características de la ruta Torreón – Mina
- 6.10. Características de la ruta Matehuala – Mina
- 6.11. Características de la ruta Nuevo Laredo – Mina
- 6.12. Características de la ruta Matamoros – Mina
- 6.13. Características de la ruta San Luis Potosí – Salamanca
- 6.14. Características de la ruta Sombrerete – Salamanca
- 6.15. Características de la ruta Cd. Valles – Altamira
- 6.16. Características de la ruta Cd. Victoria – Altamira
- 6.17. Características de la ruta Veracruz – Altamira
- 6.18. Características de la ruta Tulancingo – Tepeji del Río
- 6.19. Características de la ruta Chilpancingo – Atlacomulco
- 6.20. Características de la ruta Manzanillo – Atlacomulco



- 6.21. Características de la ruta Lerma – Atlacomulco
- 6.22. Características de la ruta Villahermosa – Puebla
- 6.23. Características de la ruta Atlacomulco - Lázaro Cárdenas
- 6.24. Características de la ruta de la ZMVM

Figuras

- 2.1. Clasificación CRETIB
- 2.2. Tipos de exposición a residuos peligrosos
- 2.3. Ingreso y movimiento de sustancias dentro del cuerpo humano
- 2.4. Movimiento de residuos peligrosos en el ambiente
- 2.5. Empresas de recolección y transporte de residuos industriales peligrosos autorizadas entre 1989 y 2000.
- 3.1. Representación general de una molécula de BPC.
- 3.2. Representación general de las moléculas de dioxinas (izq.) y furanos (der.)
- 3.3. Etiqueta de contenedores con BPC
- 3.4. Países participantes del convenio de Estocolmo (en tono oscuro).
- 4.1. Representación de un sistema (modelo de la caja negra)
- 4.2. Representación de una red
- 4.3. Enfoque clásico de la logística.
- 5.1. Regiones de estudio
- 5.2. Diagrama de flujo de manejo integral de los BPC
- 6.1. Presencia nacional de BPC
- 6.2. Infraestructura autorizada para tratamiento de BPC.

