

# CAPITULO 7

---

**“ANEXOS”**



## CAPITULO 7: ANEXOS

## 7.1 FICHAS BÁSICAS DE INSPECCIÓN A SPC

1) Identificación del Área													
1.1 Número de Ficha:	<input type="text"/>												
1.2 Fecha de Inspección:	<input type="text"/>												
1.3 Nombre del Sitio:	<input type="text"/>												
1.4 Comuna(S):	<input type="text"/>												
1.5 Dirección:	<input type="text"/>												
1.6 Contacto:	Nombre: <input type="text"/> Cargo o relación: <input type="text"/> Dirección: <input type="text"/> Teléfono/Fax: <input type="text"/> email: <input type="text"/>												
1.7 Coordenadas UTM (S):	X <input type="text"/> Y <input type="text"/> DATUM <input type="text"/>												
2) Tipo de Contaminación Probable (fuente)													
2.1 Tipo de fuente de Contaminación:	Industrial/Comercial <input type="checkbox"/> Llenar sólo 2.2 Disposición de Residuos <input type="checkbox"/> Llenar sólo 2.3 Otras <input type="checkbox"/> Llenar sólo 2.4												
2.2 Area Industrial o Comercial													
2.2.1 Detalle de la Actividad	<input type="text"/> <input type="text"/> Código CHIU(S):												
2.2.2 Posibles formas de Contaminación:(encerrar en un círculo la fuente principal)	<table border="0"> <tr> <td>Efluentes</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Derrames</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Infiltraciones</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Emisiones</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Disposición de Residuos Sólidos</td> <td><input type="checkbox"/> Llenar 2.3 si es fuente principal</td> </tr> <tr> <td>Otras</td> <td><input type="text"/></td> </tr> </table>	Efluentes	<input type="checkbox"/>	Derrames	<input type="checkbox"/>	Infiltraciones	<input type="checkbox"/>	Emisiones	<input type="checkbox"/>	Disposición de Residuos Sólidos	<input type="checkbox"/> Llenar 2.3 si es fuente principal	Otras	<input type="text"/>
Efluentes	<input type="checkbox"/>												
Derrames	<input type="checkbox"/>												
Infiltraciones	<input type="checkbox"/>												
Emisiones	<input type="checkbox"/>												
Disposición de Residuos Sólidos	<input type="checkbox"/> Llenar 2.3 si es fuente principal												
Otras	<input type="text"/>												

2.2.3 Existencia Anterior de Otra Fuente Potencial de Contaminación

Si ☐ No ☐

¿Cuál? \_\_\_\_\_

2.2.4 Situación Operacional de la Fuente Principal

Activa ☐ Desde \_\_\_\_\_

Inactiva ☐ Desde \_\_\_\_\_

2.2.5 Tipo de Contaminantes:

Metales pesados <input type="checkbox"/>	Comp. Org. nitrogenados o fosfatados <input type="checkbox"/>
Solventes orgánicos <input type="checkbox"/>	Fenóles <input type="checkbox"/>
Hidrocarburos Clorados <input type="checkbox"/>	Derivados del Petróleo <input type="checkbox"/>
Dioxinas o Furanos <input type="checkbox"/>	Plaguicidas <input type="checkbox"/>
Mezclas Complejas <input type="checkbox"/>	Desconocidos <input type="checkbox"/>
Otros <input type="checkbox"/>	

Especificar: \_\_\_\_\_

2.2.6 Especificar el Tipo de Contaminante o material Potencialmente Contaminado (Volumen Estimado)

2.2.7 Descripción del Proceso Industrial en Donde se Genera el Residuo

2.3 Disposición de Residuos

2.3.1 Forma de Disposición




Relleno Sanitario <input type="checkbox"/>	Especificar: _____
Vertedero <input type="checkbox"/>	
Vertedero Ilegal(VIRS) <input type="checkbox"/>	
Planta de Tratamiento y Disposición de Residuos Industriales <input type="checkbox"/>	
Otra <input type="checkbox"/>	

2.3.2 Tipo de Residuos (indicar el porcentaje estimado cuando corresponda)

Domiciliarios <input type="checkbox"/>	% <input type="text"/>	Lodos de Plantas de Tratamiento <input type="checkbox"/>	% <input type="text"/>
Industriales (RISNOR) <input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	de la Construcción (RESCON) <input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Mineros <input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	Peligrosos <input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Otros <input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	Desconocido <input type="checkbox"/>	<input type="text"/>

Especificar: \_\_\_\_\_

2.3.3 Medidas de Manejo (marque todas las opciones que apliquen)			
Impermeabilización Inferior	<input type="checkbox"/>	Drenajes Controlados	<input type="checkbox"/>
Recubrimiento Operacional	<input type="checkbox"/>	Recolección y Tratamiento de Percolados	<input type="checkbox"/>
Compactación	<input type="checkbox"/>	Impermeabilización Superior	<input type="checkbox"/>
2.3.4 Accesible al público:			
SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
2.4 Otras Fuentes			
Tipo:			
Accidentes (derrames)	<input type="checkbox"/>	Cementerios	<input type="checkbox"/>
Zonas de Carga y Descarga	<input type="checkbox"/>	Actividad Agrícola	<input type="checkbox"/>
Otras	<input type="checkbox"/>	Especificar	<input type="text"/>
<b>3) Potencial de Transporte (transporte)</b>			
3.1 Granulometría Predominante del Suelo (S)			
Suelo de textura gruesa	<input type="checkbox"/>	Gravas y/o piedras	<input type="checkbox"/>
Suelo de textura media	<input type="checkbox"/>	Escombros	<input type="checkbox"/>
Suelo de textura fina	<input type="checkbox"/>	Desconocido	<input type="checkbox"/>
3.2 Características del Subsuelo (S)			
Depósitos Fluviales	<input type="checkbox"/>	Depósitos lacustres	<input type="checkbox"/>
Depósitos Coluviales	<input type="checkbox"/>	Roca	<input type="checkbox"/>
Depósitos Glaciales	<input type="checkbox"/>	Roca Fracturada	<input type="checkbox"/>
Otros (esp.)	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	
3.3 Ocurrencia de Agua Subterránea (S)			
3.3.1 Existe Agua Subterránea		Si	<input type="checkbox"/>
		No	<input type="checkbox"/>
		Profundidad (m)	<input type="text"/>
3.3.2 ¿Cómo fue establecida la profundidad?			
Estimación visual	<input type="checkbox"/>	Medición	<input type="checkbox"/>
Mapas/pozos cercanos	<input type="checkbox"/>	Consulta local	<input type="checkbox"/>
No aplica	<input type="checkbox"/>		
3.3.3 ¿Cuál es la condición del Acuífero (S)?			
Surgente	<input type="checkbox"/>	Confinado	<input type="checkbox"/>
SemiConfinado	<input type="checkbox"/>	No Confinado/Libre	<input type="checkbox"/>
No se tiene información	<input type="checkbox"/>	Colgado	<input type="checkbox"/>
3.3 Distancia al curso de agua superficial más cercano (m) (S)		<input type="text"/>	

3.4 Pendiente General del Terreno (S)		Fuerte <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/>	>30% entre 5 y 30% <5%	  
3.5 Medidas de Impermeabilización Existentes o Barreras Naturales (si existen)(S)				
Si <input type="checkbox"/>		No <input type="checkbox"/>		
Explicar: <div style="border: 1px solid black; height: 60px; width: 100%;"></div>				
<b>4) Actividades Desarrolladas en las Cercanías (R=1000 m) (Receptores)</b>				
4.1 Características del Sector (S)				
Urbano	<input type="checkbox"/>	Semi-urbano	<input type="checkbox"/>	
Rural	<input type="checkbox"/>	Industrial	<input type="checkbox"/>	
Otros	<input type="text"/>			
4.2 Medio Ambiental Potencialmente Impactado				
Suelo	<input type="checkbox"/>	Aire	<input type="checkbox"/>	
Agua Superficial	<input type="checkbox"/>	Cultivos	<input type="checkbox"/>	
Agua Subterránea	<input type="checkbox"/>	Otros	<input type="text"/>	
4.3 Recursos o Actividades Presentes en el Área (Radio de 1,5 Km)				
Población Humana	<input type="checkbox"/>	Acuífero Explotable	<input type="checkbox"/>	
Curso de Agua Superficial	<input type="checkbox"/>	Área Agrícola	<input type="checkbox"/>	
Área Protegida (SNASPE)	<input type="checkbox"/>	Área Comercial	<input type="checkbox"/>	
Área Silvestre	<input type="checkbox"/>	Área Pecuaria	<input type="checkbox"/>	
Otros	<input type="text"/>			
4.4 Cantidad de Pozos de Agua en el Área de Influencia (Radio de 1.5 km)				
				<input type="text"/>
4.5 Uso de los pozos				
Agua Potable				<input type="checkbox"/>
Riego				<input type="checkbox"/>
Industrial				<input type="checkbox"/>
4.6 Existencia de Fuentes de Agua Superficial (Radio de 1,5 km)				
No <input type="checkbox"/>		Si <input type="checkbox"/>		
4.7 Uso de las fuentes de Agua Superficial:				
Agua Potable	<input type="checkbox"/>	Recreacional	<input type="checkbox"/>	
Riego	<input type="checkbox"/>	No aplica	<input type="checkbox"/>	
Industrial	<input type="checkbox"/>			

**4.8 Existen Evidencias de Contaminación:**

Tipos: (1) Análisis de Laboratorio, (2) Apariencia, (3) Olor, (4) Referencias Locales, (5) Ninguna

Tipo	Explicar
Agua	
Suelo	
Aire	
Construcciones	
Flora	
Fauna	

**4.9 Existe Evidencia de Exposición Humana a los Contaminantes**Si ☐ No ☐

**4.10 Población más Cercana (S)**

Nombre:

Distancia al Sitio (m):

Número de Habitantes:

Principal Actividad Económica:



Acceso a drenaje o alcantarillado

Acceso a agua potable

Manejo de la basura

SI ☐NO ☐SI ☐NO ☐SI ☐NO ☐**5.0) Esquema de la Situación y Ubicación****5.1 Esquema de la Situación (modelo conceptual del sitio)**


Realizar un dibujo en Planta y en Perfil

**Simbología:**
 Pozo  
 Noria

 Casa  
 Fauna  
 Flora

 Industria  
 Nivel Freático

 Rio

## 5.2 Modelo Conceptual

Fuente	Matriz contaminada	Medio de Transporte	Vía de exposición	Receptores

Indicar con una (p) si es contaminación potencial, (s) si es con sospecha y (c) si es confirmada

## 5.3 Mapa de Localización del Área (Croquis esquemático, nombres de lugares, caminos y calles)

## 6.0 Información General

## 6.1 Fuentes de la Información Obtenida

Verbal

☐

Análisis Lab.

☐

Inspección Visual

☐

Estudios Previos

☐

Otros

## 6.2 Nombres de las Personas Entrevistadas

6.3 Llenó el Cuestionario (nombre): Dependencia:  Fax: Teléfono:  Email Dirección: 

## 6.5 Observaciones


Nomenclatura: (S): Información que se recomienda verificar con la ayuda de SIG, cartografía u otros

## 7.2 FICHA DE PONDERACIÓN DE LOS SPC

				Puntaje Base	Ejemplo (A)	Ponderación (B)	Subtotal (C) A*B	MAXIMO RIESGO POT.
<b>1) Identificación del Área</b>								
<b>2) Tipo de Contaminación Probable (fuente)</b>								
2.1 Tipo de fuente de Contaminación:				Industrial/Comercial		Considerar sólo 2.2		
				Disposición de Residuos	X	Considerar sólo 2.3		
				Otras		Considerar sólo 2.4		
<b>2.2 Área Industrial o Comercial</b>								
2.2.1 Posibles Fuentes de Contaminación				Efluentes	15			15
				Derivados	20			20
				Infiltraciones	20			20
				Emisiones	15			15
				Disposición de Residuos Sólidos	20			20
				Otras	10			10
				SUM		1	0	100
2.2.3 Existencia Anterior de Otra Fuente				Si	100			100
				No	0			0
				MAX		1	0	100
2.2.4 Situación Operacional de la Fuente				Activa	100			100
				Inactiva	0			0
				MAX		1	0	100
2.2.5 Tipo de Contaminantes:				Metales pesados	90			90
				Solventes orgánicos	90			90
				Hidrocarburos Clorados	90			90
				Dioxinas o Furanos	100			100
				Mezclas Complejas	100			100
				Comp. Org. nitrogenados o fosfatados	80			80
				Fenoles	80			80
				Derivados del Petróleo	70			70
				Plaguicidas	80			80
				Desconocidos	80			80
				Otros	50			50
				MAX		1	0	100
							0	
<b>2.3 Disposición de Residuos</b>								
2.3.1 Forma de Disposición				Relleno Sanitario	30			30
				Vertedero	60	60		60
				Vertedero Ilegal (VIRS)	100			100
				Planta de Tratamiento y Disposición De Residuos Industriales	30			30
				Otra	50			50
				MAX		60	1	60
2.3.2 Tipo de Residuos (Considerar el valor máximo)				Domiciliarios	60	60		60
				Industriales (RISNOR)	40			40
				Mineros	70			70
				Lodos de Plantas de Tratamiento de la Construcción (RESCON)	60			60
					30			30
				Peligrosos	100			100
				Desconocido	80			100
				Otros	20			50
				MAX		60	1	60
							100	100
							SUBTOTAL	400



<b>2.2 Otras Fuentes</b>									
2.3.3 Tipo	Accidentes	100						100	
	Zonas de Carga y Descarga	60						60	
	Actividad Agrícola	40						40	
	Cementerios	30						30	
	Otras	50						50	
	MAX	0	1	0				100	100
0					100				
<b>3) Potencial de Transporte (transporte)</b>									
3.1 Granulometría Predominante del Suelo (S)	Suelo de textura gruesa	100	100					100	
	Gravas y/o piedras	80						80	
	Suelo de textura media	60						60	
	Suelo de textura fina	40						40	
	Escombros	50						20	
	Desconocido	50						50	
	MAX	100	1	100				100	100
3.2 Características del Subsuelo(S)	Depósitos fluviales	100						100	
	Depósitos Glaciales	90						100	
	Depósitos Coluviales	70						20	
	Depósitos Lacustres	30							
	Roca	20							
	Roca fracturada	40						40	
	Otros	50	50					50	
	MAX	50	1	50				100	100
3.3.1 Existe Agua Subterránea	0 a 5 m.	100	100					100	
	5 a 10 m.	75						75	
	10 a 20 m.	50						50	
	Más de 20 m.	25						25	
	No existe	0						0	
	MAX	100	1	100				100	100
3.3.2 ¿Cómo fue establecida la profundidad?	Estimación visual	80	80					80	
	Mapas/pozos cercanos	90						90	
	Medición	100						100	
	Consulta local	70						70	
	No aplica	0						0	
	MAX	80	1	80				100	100
3.3.3 ¿Cuál es la condición del Acuífero?	Surgente	100						100	
	SemiConfinado	75						75	
	Confinado	50						50	
	No Confinado/Libre	100	100					100	
	Colgado	90						90	
	No se tiene información	50						50	
	MAX	100	1	100				100	100
3.3 Distancia al curso de agua	0 a 50 m.	100						100	
	50 a 200 m.	75	75					75	
	200 a 1000 m.	50						50	
	Mavor a 1000 m.	25						25	
	MAX	75	1	75				100	100
3.4 Pendiente General del Terreno(S)	Fuerte	100						100	
	Media	50	50					50	

4) Actividades Desarrolladas en las Cercanías (R=1000 m) (Receptores)									
4.1 Características del Sector(S):	Urbano	100						100	
	Rural	60	60					60	
	Semi-urbano	80						80	
	Industrial	30						30	
	MAX	60	1	60				100	100
4.2 Medio Ambiental Potencialmente Impactado	Suelo	15	15					15	
	Agua Superficial	20	20					20	
	Agua Subterránea	20	20					20	
	Aire	15						15	
	Cultivos	20	20					20	
	Otros	10						10	
	SUM	75	1	75				100	100
4.3 Recursos o Actividades presentes en el Área	Población Humana	20	20					20	
	Agua Superficial	10	10					10	
	Área Protegida (SNASPE)	10						10	
	Área Silvestre	10						10	
	Área Agrícola	10	10					10	
	Acuífero Explotable	10	10					10	
	Área Comercial	10						10	
	Área Pecuaria	10	10					10	
	Otros	10	10					10	
	SUM	70	1	70				100	100
4.4 Cantidad de Pozos de Agua en el área de Influencia (1500 metros)	Más de 10	100	100					100	
	Menos de 10	50						50	
	MAX	100	1	100				100	100
4.5 Uso de los pozos	Agua Potable	100						100	
	Riego	80	80					80	
	Industrial	50						50	
	MAX	80	1	80				100	100
4.6 Existencia de Fuentes de Agua Superficial (aprox. 1000 metros)(S)	Si	100	100					100	
	No	0						0	
	MAX	100	1	100				100	100
4.7 Uso de las fuentes de Agua Superficial (valor máximo)	Agua Potable	100						100	
	Riego	80	80					80	
	Industrial	50						50	
	Recreacional	50							
	MAX	80	1	80				100	100
4.8 Existen Evidencias de Contaminación: (valor máximo)	Agua	0-100	60					100	
	Suelo	0-100	75					100	
	Aire	0-100						100	
	Construcciones	0-100						100	
	Flora	0-100	75					100	
	Fauna	0-100						100	
	MAX	75	1	75				100	100
4.9 Existe Evidencia de Exposición Humana	Si	100						100	
	No	0	0					0	
	MAX	0	1	0				100	100
Sumatoria de los puntajes obtenidos  Sumatoria de los puntajes obtenidos  100 Analítica 75 Visual 75 Olor 60 Referencias 0 Ninguna									

4) Actividades Desarrolladas en las Cercanías (R=1000 m) (Receptores)									
4.1 Características del Sector(S):	Urbano	100						100	
	Rural	60	60					60	
	Semi-urbano	80						80	
	Industrial	30						30	
	MAX	60	1	60				100	100
4.2 Medio Ambiental Potencialmente Impactado	Suelo	15	15					15	
	Agua Superficial	20	20					20	
	Agua Subterránea	20	20					20	
	Aire	15						15	
	Cultivos	20	20					20	
	Otros	10						10	
	SUM	75	1	75				100	100
4.3 Recursos o Actividades presentes en el Área	Población Humana	20	20					20	
	Agua Superficial	10	10					10	
	Area Protegida (SNASPE)	10						10	
	Area Silvestre	10						10	
	Area Agricola	10	10					10	
	Acuífero Explotable	10	10					10	
	Area Comercial	10						10	
	Area Pecuaria	10	10					10	
	Otros	10	10					10	
	SUM	70	1	70				100	100
4.4 Cantidad de Pozos de Agua en el área de Influencia (1500 metros)	Más de 10	100	100					100	
	Menos de 10	50						50	
	MAX	100	1	100				100	100
4.5 Uso de los pozos	Agua Potable	100						100	
	Riego	80	80					80	
	Industrial	50						50	
	MAX	80	1	80				100	100
4.6 Existencia de Fuentes de Agua Superficial (aprox. 1000 metros)(S)	Si	100	100					100	
	No	0						0	
	MAX	100	1	100				100	100
4.7 Uso de las fuentes de Agua Superficial ( valor máximo)	Agua Potable	100						100	
	Riego	80	80					80	
	Industrial	50						50	
	Recreacional	50							
	MAX	80	1	80				100	100
4.8 Existen Evidencias de Contaminación: (valor máximo)	Agua	0-100	60					100	
	Suelo	0-100	75					100	
	Aire	0-100						100	
	Construcciones	0-100						100	
	Flora	0-100	75					100	
	Fauna	0-100						100	
	MAX	75	1	75				100	100
4.9 Existe Evidencia de Exposición Humana	Si	100						100	
	No	0	0					0	
	MAX	0	1	0				100	100

 Sumatoria  
de los puntajes  
obtenidos

 Sumatoria  
de los puntajes  
obtenidos

 100 Analítica  
75 Visual  
75 Olor  
60 Referencias  
0 Ninguna

<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Acceso a drenaje o alcantarillado</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SI</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>NO</td> <td>100</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MAX</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td></td> </tr> </table>				Acceso a drenaje o alcantarillado					SI	0				NO	100	0			MAX	0	1	0		<table border="1"> <tr> <td>100</td> <td>100</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				100	100						
Acceso a drenaje o alcantarillado																																			
SI	0																																		
NO	100	0																																	
MAX	0	1	0																																
100	100																																		
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Acceso a agua potable</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SI</td> <td>0</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>NO</td> <td>100</td> <td>100</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MAX</td> <td>100</td> <td>1</td> <td>100</td> <td></td> </tr> </table>				Acceso a agua potable					SI	0	0			NO	100	100			MAX	100	1	100		<table border="1"> <tr> <td>100</td> <td>100</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				100	100						
Acceso a agua potable																																			
SI	0	0																																	
NO	100	100																																	
MAX	100	1	100																																
100	100																																		
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Manejo de la basura</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SI</td> <td>0</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>NO</td> <td>100</td> <td>100</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MAX</td> <td>100</td> <td>1</td> <td>100</td> <td></td> </tr> </table>				Manejo de la basura					SI	0	0			NO	100	100			MAX	100	1	100		<table border="1"> <tr> <td>100</td> <td>100</td> <td>SUBTOTAL</td> <td>1500</td> </tr> </table>				100	100	SUBTOTAL	1500				
Manejo de la basura																																			
SI	0	0																																	
NO	100	100																																	
MAX	100	1	100																																
100	100	SUBTOTAL	1500																																
1140																																			
<b>5.0) Esquema de la Situación y Ubicación</b>																																			
<b>6) Información General</b>																																			
6.1 Fuentes de la Información Obtenida				<table border="1"> <tr> <td>Verbal</td> <td>50</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Inspección Visual</td> <td>70</td> <td>70</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Análisis Lab.</td> <td>100</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Estudios Previos</td> <td>80</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Otros</td> <td>50</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MAX</td> <td>70</td> <td>1</td> <td>70</td> </tr> </table>				Verbal	50			Inspección Visual	70	70		Análisis Lab.	100			Estudios Previos	80			Otros	50			MAX	70	1	70				
Verbal	50																																		
Inspección Visual	70	70																																	
Análisis Lab.	100																																		
Estudios Previos	80																																		
Otros	50																																		
MAX	70	1	70																																
				<table border="1"> <tr> <td>50</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>70</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>100</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>80</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>50</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>100</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">SUBTOTAL</td> <td>100</td> </tr> </table>				50				70				100				80				50				100	100			SUBTOTAL			100
50																																			
70																																			
100																																			
80																																			
50																																			
100	100																																		
SUBTOTAL			100																																
70																																			
<b>SUBTOTALES</b>				<table border="1"> <tr> <th>MAXIMO</th> <th>%</th> <th>PESO</th> <th>TOTAL</th> </tr> <tr> <td>400</td> <td>66%</td> <td>0,25</td> <td>17%</td> </tr> <tr> <td>800</td> <td>82%</td> <td>0,25</td> <td>20%</td> </tr> <tr> <td>1500</td> <td>76%</td> <td>0,25</td> <td>19%</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>70%</td> <td>0,25</td> <td>18%</td> </tr> </table>				MAXIMO	%	PESO	TOTAL	400	66%	0,25	17%	800	82%	0,25	20%	1500	76%	0,25	19%	100	70%	0,25	18%								
MAXIMO	%	PESO	TOTAL																																
400	66%	0,25	17%																																
800	82%	0,25	20%																																
1500	76%	0,25	19%																																
100	70%	0,25	18%																																
2) Tipo de Contaminación Probable (fuente) 265																																			
3) Potencial de Transporte (transporte) 655																																			
4) Actividades Desarrolladas en las Cercanías (R=1000 m) (Receptores) 1140																																			
6) Información General (confiabilidad) 70																																			
<b>PUNTAJE TOTAL</b>				74																															

## 7.3 ACTIVIDADES POTENCIALMENTE CONTAMINANTES

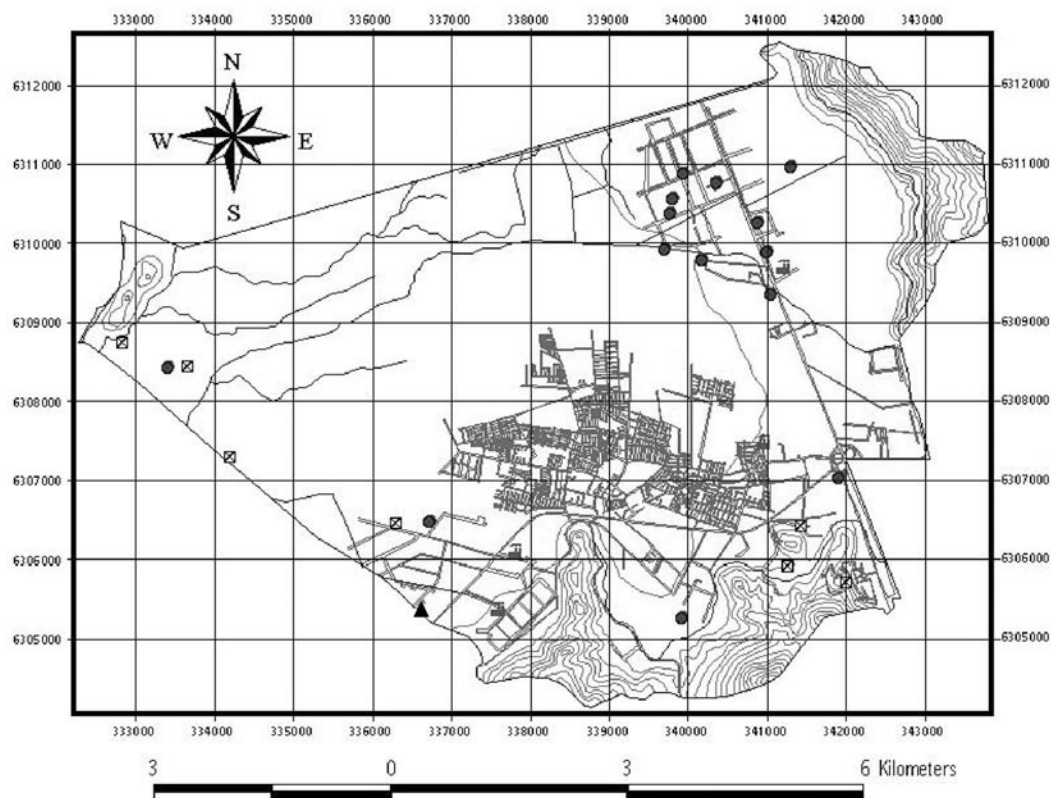
	Principales Categorías de SPC con COPs	Subcategorías	Actividad antrópica asociada	CIIU	Medio impactado
<b>Sector Plaguicidas Clorados</b> Aldrin Clordano Dieldrin Endrin Heptacloro Mirex Toxafeno DDT	Depósitos de productos con plaguicidas COPs (Stocks con productos obsoletos).	Cilindros y cajas de desechos de plaguicidas antiguos. Depósitos antiguos de semillas.	Fabricación de plaguicidas y otros productos químicos de uso agropecuario.	2421	Suelo y Aire
		Subsuelo, donde existan cajas eléctricas subterráneas. Subsuelo de fundaciones en construcciones madereras.			
	Medios ambientales donde se aplicaron plaguicidas COPs.  Vertederos antiguos y/o de disposición ilegal	Tratamiento e impregnado de la madera	Aserrado, acepilladura de madera y fabricación de productos.	2010	Suelo, Agua y Aire
<b>[11] Sector Productos Químicos Industriales</b> Hexaclorobenceno Bifenilos Policlorados	Sub-productos manufactureros	Solventes de tintas, aceites lubricantes, plastificantes de pinturas, adhesivos y selladores.	Actividades de impresión, Fabricación de pinturas, barnices y productos de revestimiento similares, tintas de imprenta y masillas.	2221, 2422.	Aire, Suelo y Agua
	Estaciones de generación eléctrica y compañías de transmisión.	Condensadores y transformadores eléctricos actualmente en uso.	Generación, captación y distribución de energía eléctrica. Fabricación de Motores eléctricos, transformadores y generadores. Fabricación de otros tipos de equipo eléctrico n.c.p.	3110, 3190.	Aire
	Reciclaje, vertederos antiguos y/o de disposición ilegal	Reciclaje de metales	Reciclaje de Chatarra y desechos de metal. Comercio al por mayor de chatarra y productos de desecho	371 5142	Aire y Agua
<b>Sector Sub productos no intencionales</b> Dioxinas Furanos	Incineración de desechos	Incineración de desechos sólidos municipales			Aire y Agua
		Incineración de desechos peligrosos			
		Incineración de desechos médicos	Hospitales, Fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y productos botánicos		Aire

	Principales Categorías de SPC con COPs	Subcategorías	Actividad antrópica asociada	CIU	Medio impactado
Sector Sub productos no intencionales Dioxinas Furanos		Incineración de desechos de desguace, fracción ligera.	Aserrado y acepilladura de madera	2010	Aire, Agua y Suelo
		Incineración de lodos de alcantarillado			
		Incineración de maderas de desecho y biomasa de desecho			
		Combustión de cadáveres de animales.			
	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	Sinterización de metal de hierro			
		Producción de coke	Fabricación de productos de hornos de coque, Fabricación de coque, productos de la refinación del petróleo	2320	Aire
		Producción y fundición de hierro y acero	Industrias básicas de hierro y acero, Fundición de hierro y acero	2731	Aire
		Producción de otros metales no ferrosos	Fabricación de otros productos minerales no metálicos n.c.p.	2732	Aire
		Plantas de generación de energía por combustibles fósiles	Generación, captación y distribución de energía eléctrica	401	Aire
		Plantas de generación de energía por biomasa (fósiles)			Aire, Suelo
		Producción de cemento	Fabricación de cemento, cal y yeso.	2694	
		Producción de cal		Aire	
	Producción de ladrillos				
	Generación de energía y calefacción	Producción de vidrio	Fabricación de vidrio y productos de vidrio	2610	
		Producción de cerámica	Fabricación de otros productos minerales no metálicos n.c.p.	2699	
		Mezcla de asfalto			Aire
		Quema de biomasa (limpia)			Aire
		Quema de desechos e incendios accidentales			Aire, Suelo y Agua

	Principales Categorías de SPC con COPs	Subcategorías	Actividad antrópica asociada	CIIU	Medio impactado
<b>Sector Sub productos no intencionales</b> Dioxinas Furanos		Fábricas de pasta y papel	Fabricación de papel y de productos de papel	2101	Aire, Agua y Suelo
	Productos minerales	Industria química	Fabricación de sustancias químicas básicas	2411	Agua por descargas de RILES y Aire Agua por descargas de RILES y Aire
		Fábricas textiles	Acabado de productos textiles	1712	
		Desecado de biomasa			Suelo, Agua y Aire
		Crematorios			
		Humo de tabaco			

## 7.4 CARTOGRAFÍA Y SIG

### Características Físicas de la Comuna



#### Leyenda

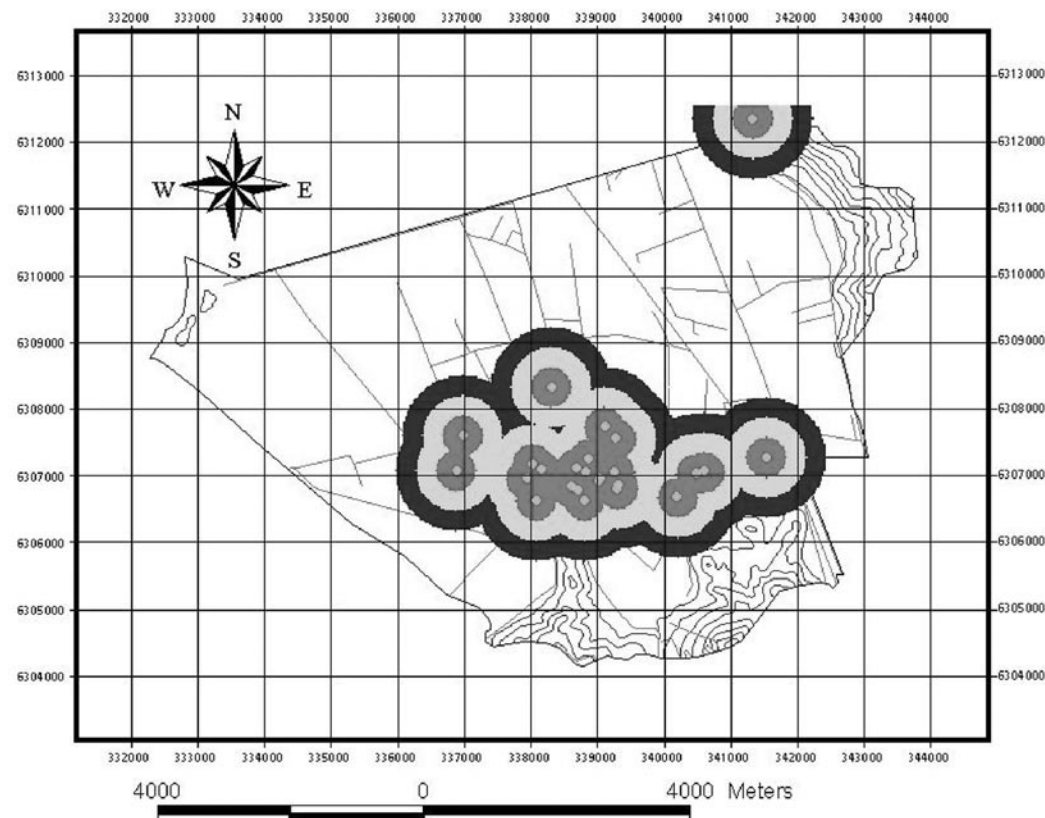
- |               |                   |
|---------------|-------------------|
| ▲ Plaguicidas | ~ Hidrología      |
| ■ PCB's       | ~ Curvas de nivel |
| ⊠ Mezclas     | ~ Vialidad 2001   |
| ● Dioxinas    |                   |

#### Ubicación Regional





## Factor distancia en receptores sensibles



### Leyenda

Buffer Población Sensible

0 - 300 metros

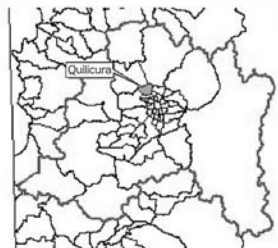
300 - 600 metros

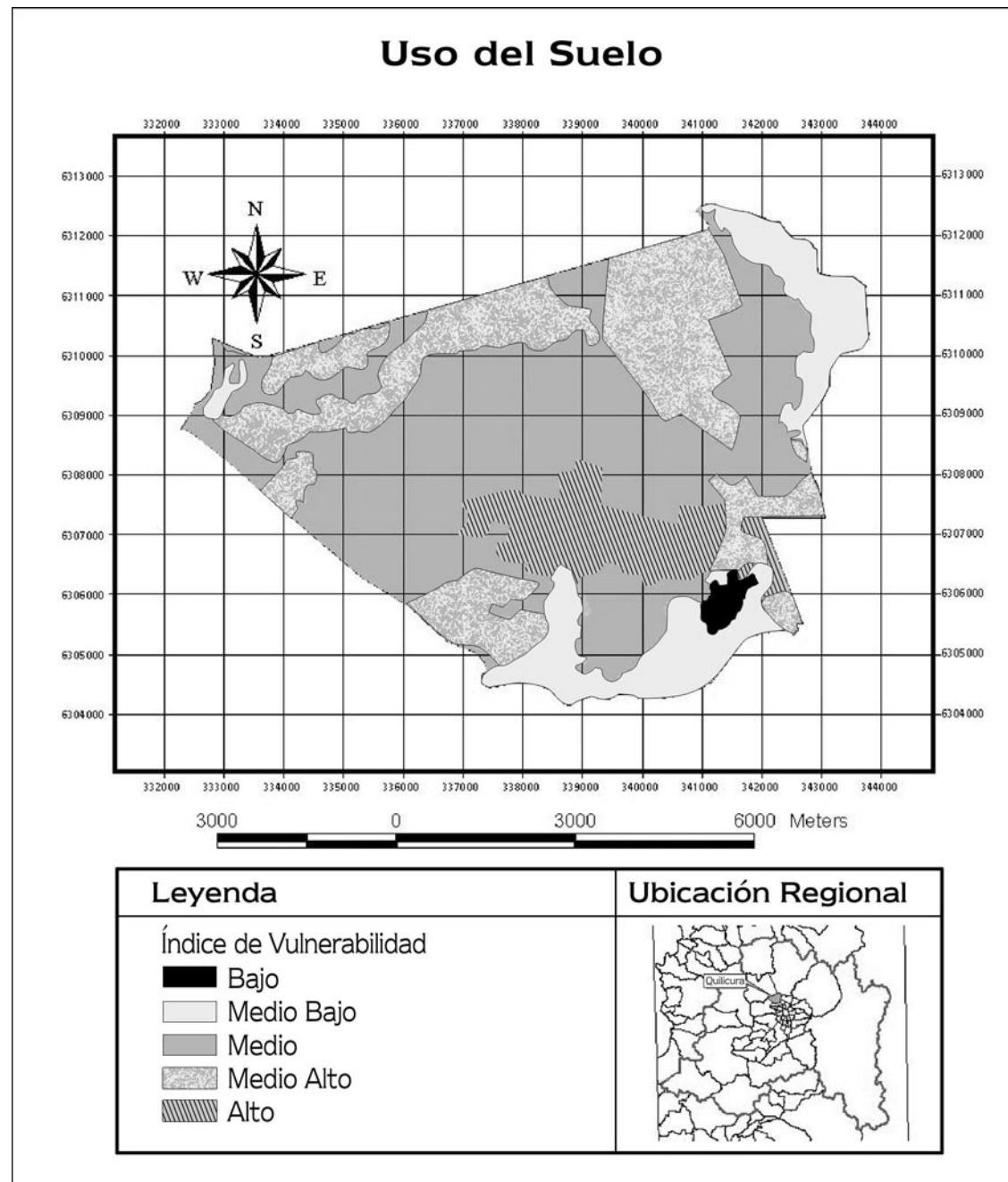
600 - 900 metros

No Data

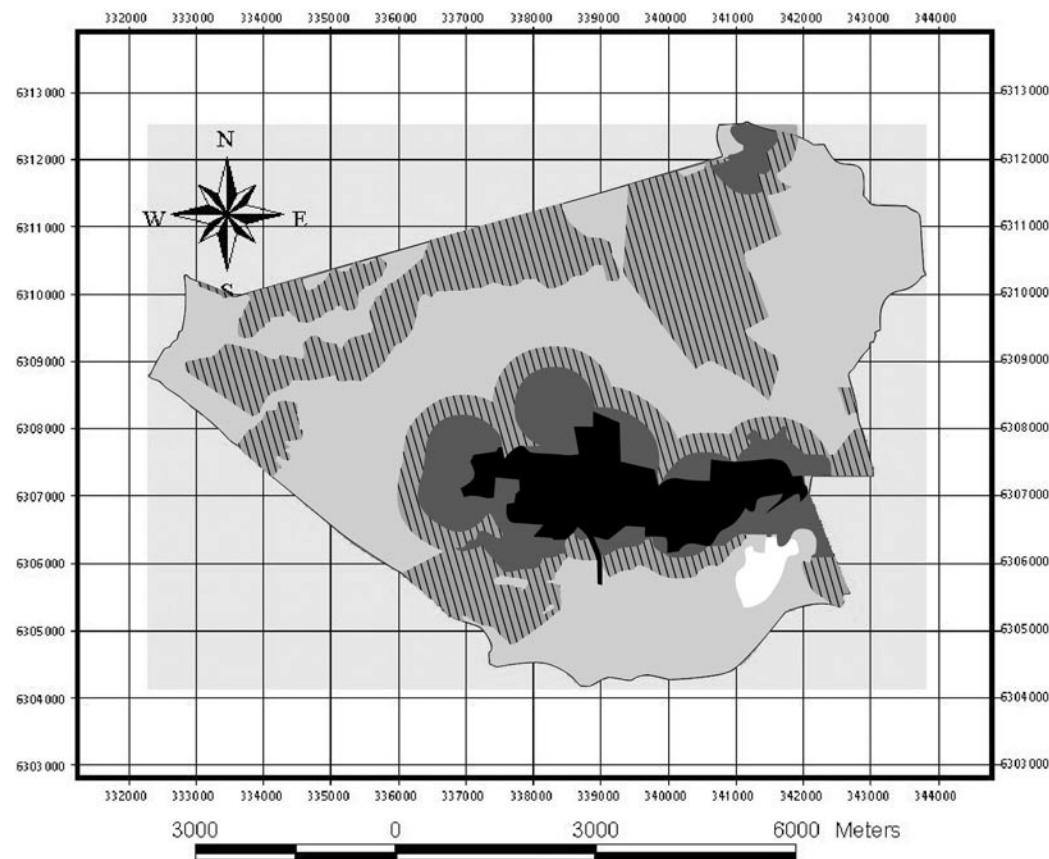
Curvas de nivel

### Ubicación Regional





## Índice de Vulnerabilidad



### Leyenda

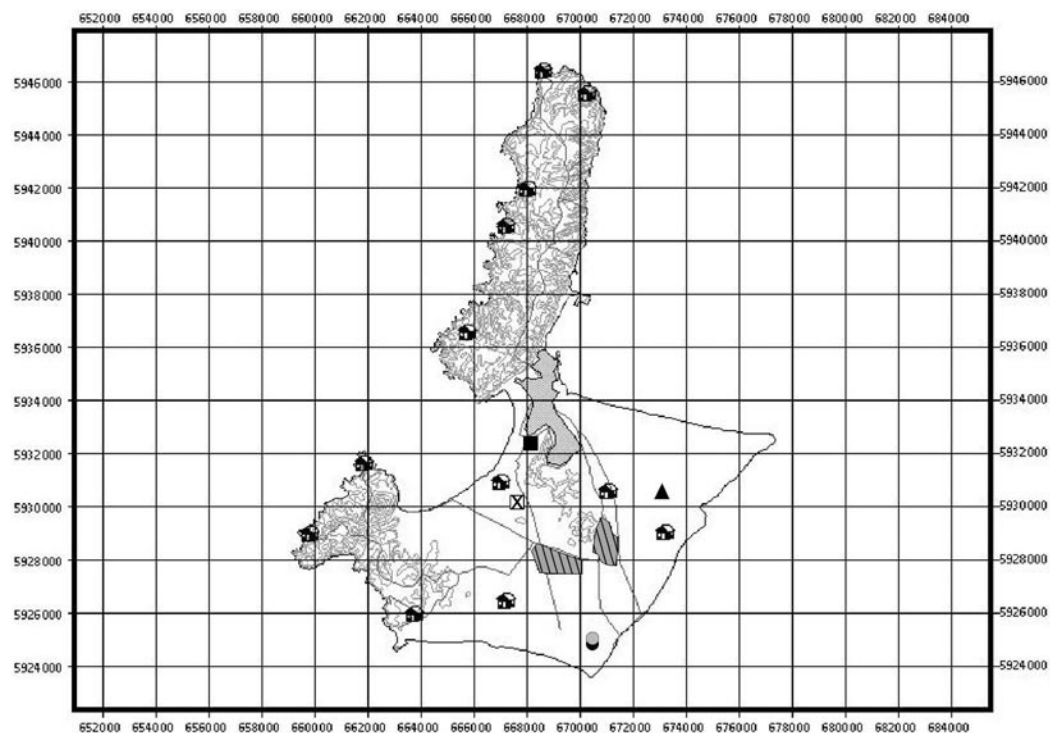
Índice de exposición a los COPs

- Bajo
- ▨ Medio Bajo
- Medio
- Medio Alto
- Alto
- No Data

### Ubicación Regional



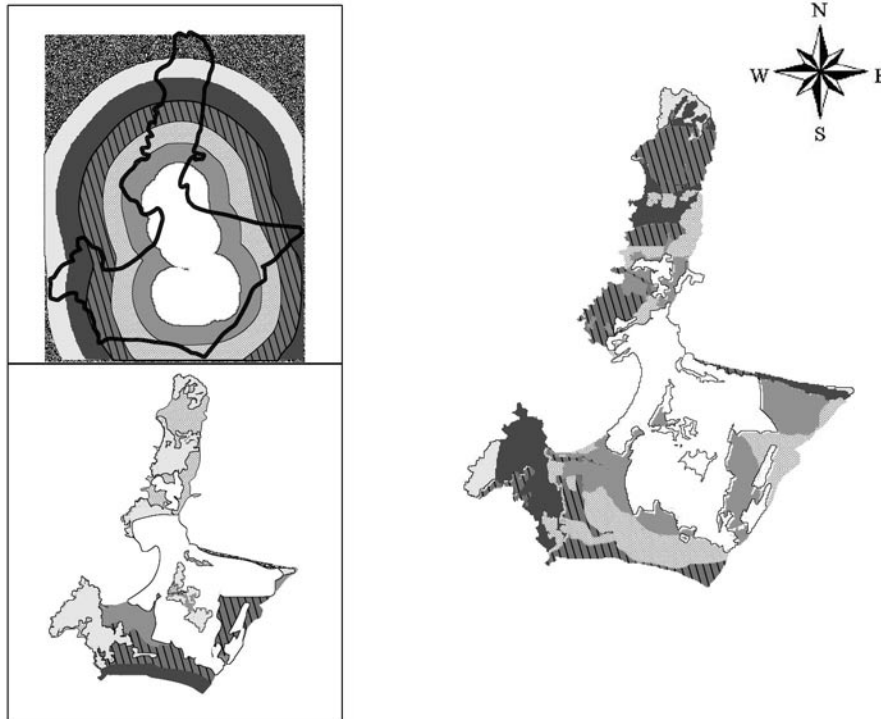
## Características Físicas: Comuna de Talcahuano









8 0 8 Kilometers

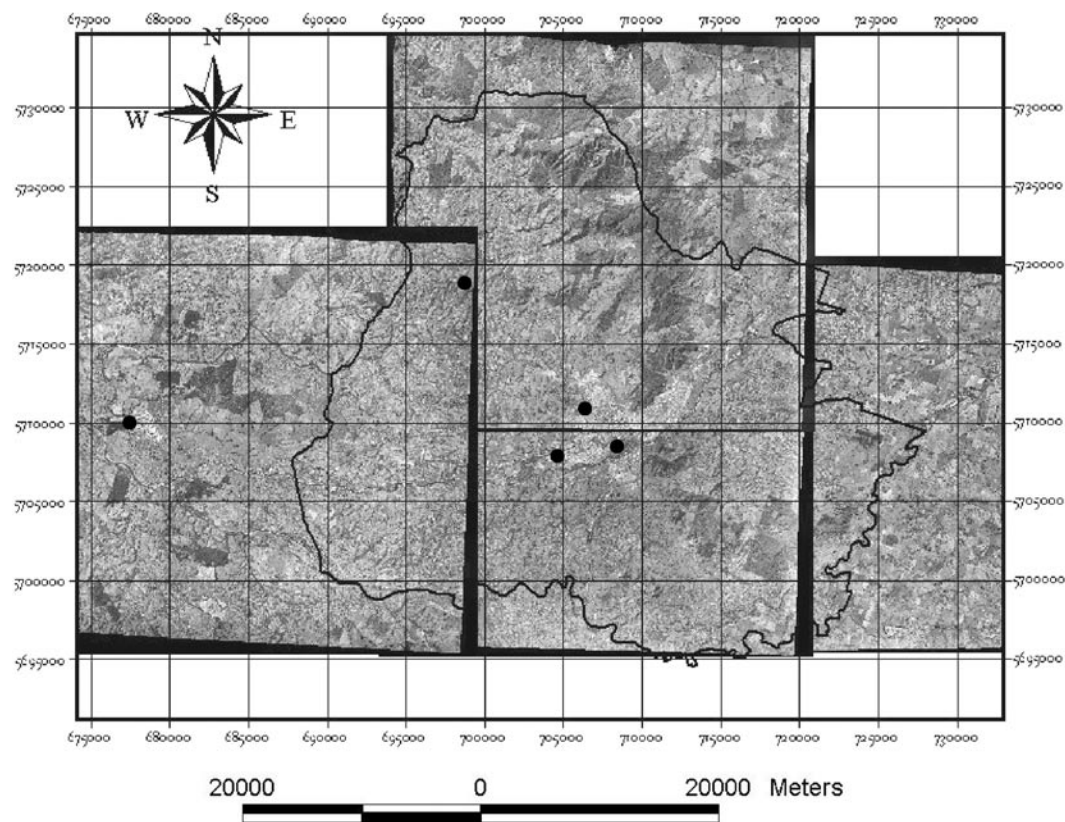
Leyenda		Ubicación Regional
Ciudades	SPC COPs	
Hualpencillo	Arenera	
Talcahuano	Aserradero	
Centros poblados	Cementos Bio-Bio	
Vialidad	Ex Vertedero (Carizal)	
Curvas de nivel	OXY S.A.	

## Mapa de Vulnerabilidad



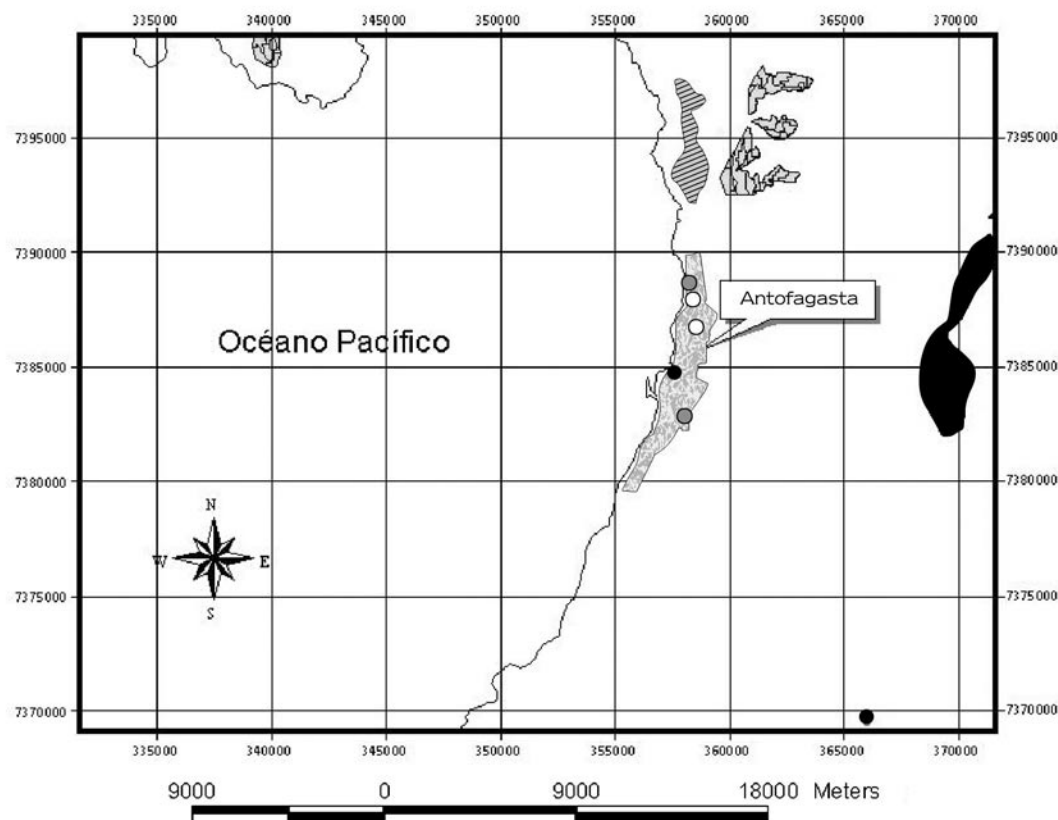
Vulnerabilidad	
 Baja	 Media Alta
 Media Baja	 Alta
 Media	 Muy Alta









### Comuna de Temuco: SPC con COPs visitados



- Límite Comunal
- Sitios con Potencial Presencia COPs inspeccionados en terreno.

## Cartografía SPC con COPs: Comuna de Antofagasta



Leyenda		Ubicación Regional
 Comunidades bióticas	SPC COPs:	
 Zona agrícola	 No se encontraron evidencias	
 Cuerpos de agua	 Dioxinas y Furanos	
 Antofagasta	 PCB's	

## Mapa de vulnerabilidad en base a la distancia y el uso del suelo

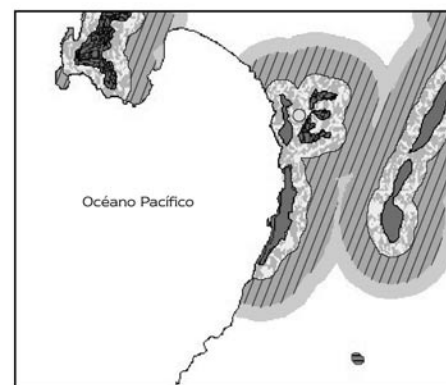
Distancia



Uso del suelo



Vulnerabilidad



9000 0 9000 18000 Meters

Leyenda		Ubicación Regional
Receptores	SPC COPs:	
<b>Vulnerabilidad</b>	S/I	
Bajo	Dioxinas y Furanos	
Medio	PCB's	
Alto		
Muy Alto		



## 7.5. HERRAMIENTAS COMPLEMENTARIAS

Hasta ahora se han destinado todos los esfuerzos para identificar y priorizar sitios con potencial presencia de COPs, sin embargo, el problema mayor surge cuando se desea saber la ubicación de los sitios comprobadamente contaminados sin contar con evidencias cuantitativas sobre la presencia de COPs en un sitio particular. Para ello, se proponen algunas herramientas adicionales para estimar zonas con mayor probabilidad de estar contaminados con COPs.

### 7.5.1. MODELOS DE DISPERSIÓN

Para evaluar la posibilidad de usar herramientas de análisis adicionales a la ficha de inspección utilizada en terreno, se ha desarrollado una recopilación de los principales modelos de dispersión de contaminantes (con características semivolátiles) en el aire y en menor grado en el suelo. De esta manera, se puede estimar con mayor precisión la ubicación de las áreas con mayor probabilidad de estar contaminados con COPs, permitiendo orientar la determinación de los puntos de muestreo y las zonas de mayor riesgo.

Una de las aplicaciones de los modelos en el campo de la evaluación de riesgos, es el cálculo y la visualización de la distribución estimada de datos puntuales mediante el uso de algoritmos. Esto requiere en primer lugar, de la caracterización del sitio, mediante el levantamiento de información de los contaminantes presentes, su concentración, el grado de migración y distribución en distintas fases, como también de las características del medio, los cuales determinarán las condiciones de la pluma de migración y la selección de zonas de mayor o menor riesgo.

Para conocer la dinámica de la dispersión de los contaminantes referidos al aire, suelo y agua, es necesario conocer el clima y la aproximación a la meteorología del sitio que se desea evaluar. Para ello, se debe estudiar la disponibilidad de los datos provenientes de estaciones meteorológicas cercanas.

La información necesaria para una evaluación sitio específica es la siguiente:

- Características climáticas: velocidad y dirección del viento, distribución espacial de las precipitaciones y temperaturas máximas.
- Características geomorfológicas del sitio (principalmente topografía, hidrología superficial y subsuperficial).
- Características de la Fuente de emisión: altura de la chimenea, tipo de combustión, entre otras.

El conocimiento de la dinámica de los contaminantes en un medio es fundamental para evaluar el riesgo sobre el medio ambiente y la población humana. En efecto, esta forma de evaluar la influencia de un determinado tipo contaminante se encuentra inserto en la evaluación de impacto ambiental. En este contexto creemos que esta herramienta debe ser integrada al estudio de sitios contaminados con el fin de inferir los riesgos asociados a ese lugar.

Estos modelos permiten simular la dispersión del contaminante y evaluar el impacto ambiental de un determinado proceso de transporte (aire, agua). Los modelos consideran: datos de las fuentes emisoras, datos geográficos, datos meteorológicos y datos de monitoreo. Los resultados de la aplicación de modelos de dispersión permiten realizar un análisis gráfico y estadístico de la predicción de distribución de contaminantes (análisis cualitativo).

En base a estos antecedentes se propone:

1. Recopilar antecedentes sobre modelos utilizados a nivel mundial para la dispersión de contaminantes en aire, agua y suelos. Esta recopilación permitirá estar al día a cerca de las aplicaciones de estos modelos.
2. Proponer los modelos para aire, agua y suelo más adecuados para los contaminantes de interés dentro del proyecto.
3. Ingresar los parámetros necesarios para la alimentación del modelo de dispersión a partir de la caracterización del sitio.
4. Aplicar los modelos numéricos de dispersión de contaminantes seleccionados en cada uno de los SC identificados y estimar la distribución espacial de las sustancias nocivas (área de influencia).
5. Generar cartografía de peligrosidad asociada a dioxinas, furanos y pentaclorofenol en los SC evaluados. Esta herramienta permitirá indicar aquellas zonas con mayor probabilidad de riesgo a los receptores de interés (cultivos, criaderos, centros poblados, entre otras).

A continuación se presentan algunos de los modelos disponibles en la Web para estimar el comportamiento de los COPs a partir de una fuente emisora.

### 7.5.2. MODELO EPISUITE

EPISUITE disponible en: (<http://www.epa.gov/oppt/exposure/docs/episuite.htm>) se trata de un grupo de modelos que estiman las propiedades físicas de sustancias químicas. No requiere muchos datos, sólo la composición del químico de interés. Estima propiedades tales como KOW, KOC, constante de la Ley de Henry y la solubilidad, entre otras. No es un modelo completo, pero puede servir como primer paso para los siguientes modelos cuando no se cuenta con la información deseada de los contaminantes de interés.

### 7.5.3. MODELO EQC

EQC (<http://www.trentu.ca/cemc/models/EQC2.html>). Este programa calcula la distribución de un químico en el medio ambiente, bajo una evaluación estática o dinámica. Como datos de ingreso, este programa requiere una cantidad modesta de entradas de información de datos. Por lo general, son datos disponibles, como parámetros físicos del químico. La desventaja es que no se puede modificar la descripción del medio (es decir, se usa un sitio general para los cálculos). El resultado es la distribución entre agua, aire, suelo, y sedimentos. Aunque no es útil para una descripción de un sitio específico, es bueno para cuantificar – generalmente – como se comporta una sustancia de interés.

### 7.5.4. MODELO MMSOILS

MMSOILS (<http://www.epa.gov/ceampubl/mmedia/mmsoils/index.htm>). Opera en DOS y estima riesgo asociado a rellenos, considerando transporte en agua subterránea, superficial, escurrimiento y aire. Como vías de exposición se considera ingestión de suelo, inhalación de volátiles y partículas, ingestión de plantas, peces y animales contaminados. Para generar un análisis detallado, requiere de una descripción de sitio también muy detallada y un químico de interés. Generalmente, los parámetros que describen el sitio no están disponibles sin una investigación en terreno muy detallada. Este programa puede servir para determinar el destino de una sustancia. Sin embargo, requiere mucho más información que no se puede recoger fácilmente.

### 7.5.5. MODELO 3MRA

3MRA (<http://www.epa.gov/ceampubl/mmedia/3mra/index.htm>). Este programa, todavía en desarrollo, estimará el riesgo de la población y ecosistema asociada a rellenos de residuos peligrosos, considerando agua, suelo, y aire. Si bien requerirá una gran cantidad de datos como input, será capaz de describir el destino y transporte de un químico en un dado sitio. Sin embargo, sólo considerará fuentes como rellenos.

La siguiente Tabla presenta un resumen de los modelos mencionados:

**TABLA 26: RESUMEN COMPARATIVO DE LOS MODELOS RECOPIRADOS**

Nombre Modelo	Funcionalidad	Parámetros a Ingresar	Limitaciones del Modelo	Utilidad
EPISUITE	Estima las principales propiedades de los químicos	Bajo - Estructura del químico	Solo estima propiedades; destino y transporte no se consideran.	Permite obtener en forma rápida las característica que determinan el comportamiento y distribución en el medio ambiente
EQC	Calcula la distribución del químico entre las fases del entorno	Medio	No se considera parámetros del sitio.	Si – idea básica de la distribución de un químico en el entorno.
MMSOILS	Estima el riesgo asociado a rellenos debido al transporte de los contaminantes.	Alta	Solo considera acopios, y requiere información demasiado detallada.	No - Interfaz del DOS difícil de aprender, información detallada difícil para encontrar.
3MRA	Estimar riesgo asociado con rellenos debido a transporte en todos fases.	Alta	Todavía en desarrollo; solo se considera acopios.	No – requiere mucha información.

**7.5.6. TEST DE ELISA**

El test de “ELISA” permite detectar la presencia o ausencia de dioxinas y furanos en muestras de suelo, agua y/o aire. Consiste en un análisis de laboratorio rápido y simple que utiliza un anticuerpo para la detección de los congénereos de dioxinas y furanos más tóxicas, es decir, los isómeros 2,3,7,8-dibenzoparadioxinas y 2,3,7,8-dibenzofuranos.

A partir de los resultados de este análisis (cuyo costo es cerca de 10 veces más económico que los análisis tradicionales), se podrían identificar sitios con sospechas de estar contaminados con dioxinas y furanos. Del mismo modo, la aplicación de este método permitiría orientar muestreos confirmatorios, haciendo de esta manera un uso mas efectivo de los recursos disponibles. Se recomienda, sin embargo, validar la aplicabilidad y confiabilidad de este método, pues tiene bastantes retractores.

## 7.6. TECNOLOGÍAS DE REMEDIACIÓN

A continuación se presenta un resumen de las principales tecnologías de remediación que están siendo aplicadas a nivel internacional para tratar los compuestos orgánicos persistentes, COPs.

Para la recopilación de información se ha recurrido a las principales fuentes disponibles, como son organismos europeos y Norteamericanos tales como USEPA, IHOBE, CLARINET, entre otros. Al final del documento se presenta el detalle de la bibliografía empleada.

Los métodos más comúnmente usados para tratar sitios contaminados con sustancias COPs son la incineración, el procesamiento químico y los rellenos sanitarios de seguridad. Desafortunadamente, en la práctica ninguna de las tecnologías existentes es capaz de eliminar los materiales dañinos sin generar subproductos potencialmente peligrosos. Por ejemplo, el tratamiento químico generalmente produce un enorme volumen de sustancias menos peligrosas, las cuales a su vez requieren tratamientos subsecuentes para su destrucción. El relleno sanitario de seguridad, sin importar cuán bueno sea su diseño de ingeniería, nunca es una solución permanente, ya que los sellos eventualmente se degradan liberando al medio ambiente los desechos que contienen.

Varias tecnologías nuevas, como la hidrogenación en fase gas, la oxidación electroquímica, el arco de plasma y la fundición en fusión ofrecen maneras diferentes para lidiar con los residuos químicos. Sin embargo, estos sistemas tienden a ser altamente específicos en lo que se refiere a las sustancias que pueden degradar y frecuentemente el proceso es lento y sumamente costoso.

Adicionalmente a lo anterior, el manejo, almacenamiento y transporte de los desechos de los depósitos con COPs debería llevarse a cabo usando los métodos disponibles más seguros ambientalmente, poniendo especial atención a la protección de los trabajadores y a la prevención de subproductos dañinos.

### 7.6.1. TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO IN SITU <sup>21</sup>

La mayor ventaja de los tratamientos In Situ, es que permiten tratar el suelo sin necesidad de excavar ni transportar, reduciendo significativamente los costos. Sin embargo, requiere de largos periodos de tiempo y es menos certero en la uniformidad del tratamiento debido a la variabilidad de las características del suelo y del acuífero, siendo más difícil verificar la eficiencia del proceso. Son tecnologías sensibles a los parámetros del suelo, por ejemplo la presencia de arcillas o materiales húmicos pueden causar variación en los parámetros hidráulicos verticales y horizontales, los cuales afectarían el desempeño del proceso.

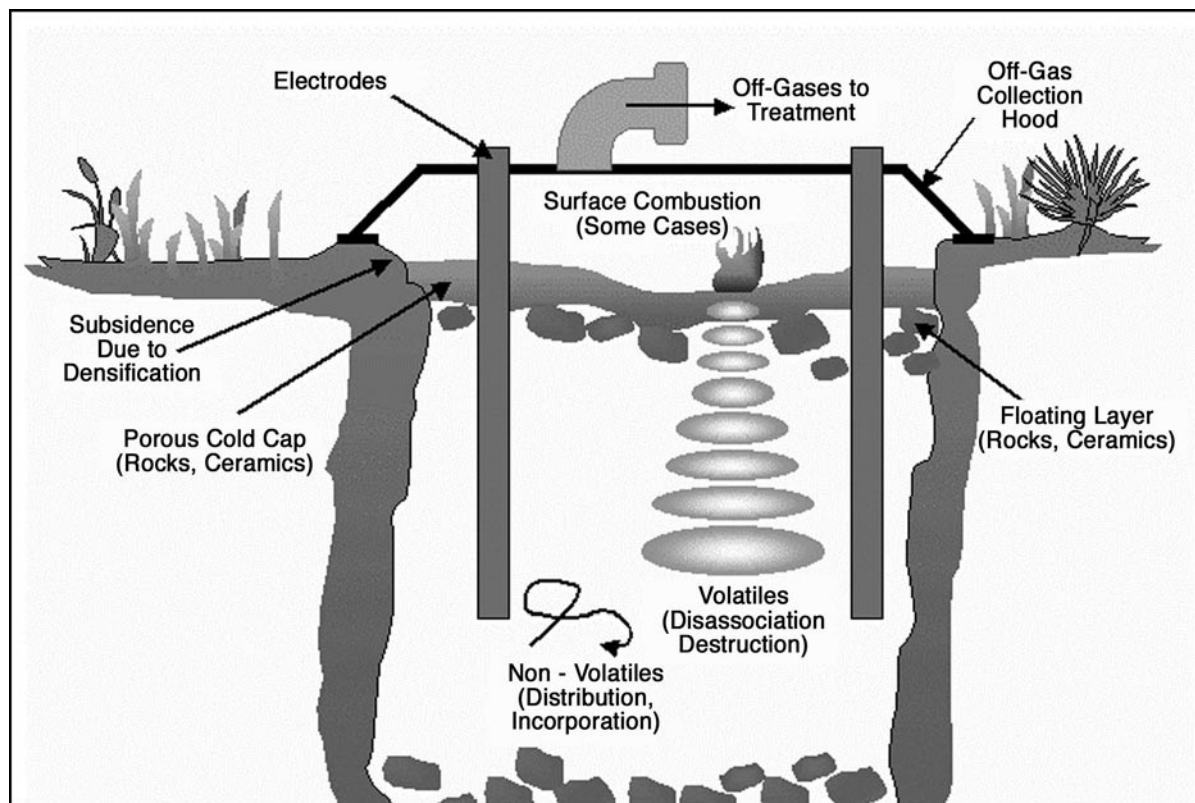
Las tecnologías que pueden ser aplicadas para el tratamiento de los compuestos orgánicos persistentes son:

#### Vitrificación In Situ (ISV)

Esta técnica es considerada como un proceso de solidificación/estabilización in situ, el cual inmoviliza la mayoría de los materiales inorgánicos y destruye los contaminantes orgánicos por pirólisis. Al someter al suelo a altas temperaturas (1600 – 2300°C) sus materiales constitutivos son fundidos, produciéndose su vitrificación. Durante el proceso se debe controlar la volatilización de numerosos compuestos. Esta técnica persigue la eliminación del suelo y sólo es recomendable en situaciones extremas.

La vitrificación “in situ” (ISV) consiste en un proceso de fusión de suelo provocado por una corriente eléctrica creada entre dos o más electrodos, los contaminantes inorgánicos y la materia mineral del suelo se combinan en una masa vítrea con propiedades similares a la obsidiana natural, mientras que la materia orgánica y determinados productos residuales inorgánicos son eliminados hacia la superficie, donde son capturados por una cubierta conectada a un sistema de tratamiento de gases (Figura 46).

<sup>21</sup> Federal Remediation Technologies Roundtable, FRTR, USA.

**FIGURA 46: SISTEMA DE VITRIFICACIÓN IN SITU**

Fuente: EPA, Guías del Ciudadano. [www.cluin.org](http://www.cluin.org)

**Aplicación:** La técnica de vitrificación parece encontrar aplicación en el caso de terrenos donde se encuentran almacenados barriles u otros contenedores con residuos, o en suelos contaminados con dioxinas o PCBs.

**Limitaciones:** La utilización de esta técnica puede verse limitada especialmente en el caso de bases de lodos, vertederos, etc. por la presencia de huecos de gran volumen, por una insuficiente cantidad de materiales vitrificantes o por un exceso de escombros o materia orgánica combustible.

**Costos:** El costo promedio de las pruebas de tratabilidad son de aprox. USD\$25.000 más gastos de análisis; Para PCBs y dioxinas, es de USD\$30.000 más gastos de análisis. Los costos varían con los costos de electricidad, cantidad de agua y profundidad del proceso. En un estudio reciente en la costa este de Estados Unidos, se estimaron costos de vitrificación entre USD\$375 a US\$ 425 por tonelada de suelo tratado.

### 7.6.2. TRATAMIENTOS FÍSICO QUÍMICOS EX SITU

La mayor ventaja de estos tratamientos es que pueden ser realizados en cortos periodos de tiempo (menor que los tratamientos In Situ y en comparación de los tratamientos biológicos), proporcionan una mayor certeza sobre la uniformidad del tratamiento debido a la habilidad de homogeneizar, filtrar y mezclar continuamente el suelo. Sin embargo, requiere de excavación, incrementando los costos de ingeniería, transporte, manejo de materiales y exposición de los trabajadores.

Los tratamientos Físicos Químicos usan las propiedades de los contaminantes o el medio contaminado (matriz) para destruir (por ejem. conversión química), separar o inmovilizar la contaminación. Entre las Tecnologías disponibles en el mercado y que pueden ser aplicadas para tratar compuestos orgánicos persistentes son:

#### Deshalogenación

Es un proceso por medio del cual, se reduce el número de átomos halogenados que se encuentran en una molécula orgánica. Los compuestos polihalogenados son tóxicos y, la disminución del número de halógenos en la molécula disminuye su toxicidad. Es una técnica de destrucción.

En la industria y en la agricultura se han usado un número considerable de compuestos polihalogenados y no siempre se han manejado adecuadamente. Por ejemplo; a) los bifenilos policlorados se usaron en los transformadores de alta tensión, porque son buenos conductores térmicos y al mismo tiempo, son aislantes eléctricos y no son inflamables, b) el DDT se usó como insecticida en la agricultura y en el control de insectos vectores de enfermedades c) los solventes como TCE, PCE, etc. se han usado como disolventes de grasas en el lavado en seco y en el desengrase de partes mecánicas y eléctricas, d) se usan compuestos clorados en el saneamiento de agua, etc.

Para utilizar la deshalogenación química es necesario extraer el suelo contaminado y eliminarle las partículas mayores (piedras, palos, etc.). Esto hace necesario que en el sitio se disponga de un área adecuada para hacer esta tarea.

#### Polietilenglicol-potasa

En este proceso, la tierra contaminada con bifenilos policlorados se mezcla con el reactivo APEG (Poli Etilén Glicol Alcalino) y se calienta, a 150° C durante 4 horas, en un reactor. El compuesto policlorado reacciona con el APEG substituyendo los átomos de cloro por residuos de poli etilén glicol. Los átomos de cloro aparecen como iones cloruro. Los gases y vapores que se producen en el reactor se pasan a un condensador y los no condensables se pasan a un filtro de carbón activado antes de emitirlos a la atmósfera. El agua condensada se usa en el paso de lavado de la tierra tratada. La mezcla de tierra tratada y APEG se envían a un separador donde se recupera el APEG que no reaccionó y se recicla al reactor.

La tierra tratada se lava usando los condensados del reactor, luego las aguas de lavado se tratan y se descartan. La tierra tratada se regresa a su lugar de origen después de comprobar que la concentración de los tóxicos llegó al nivel deseado.

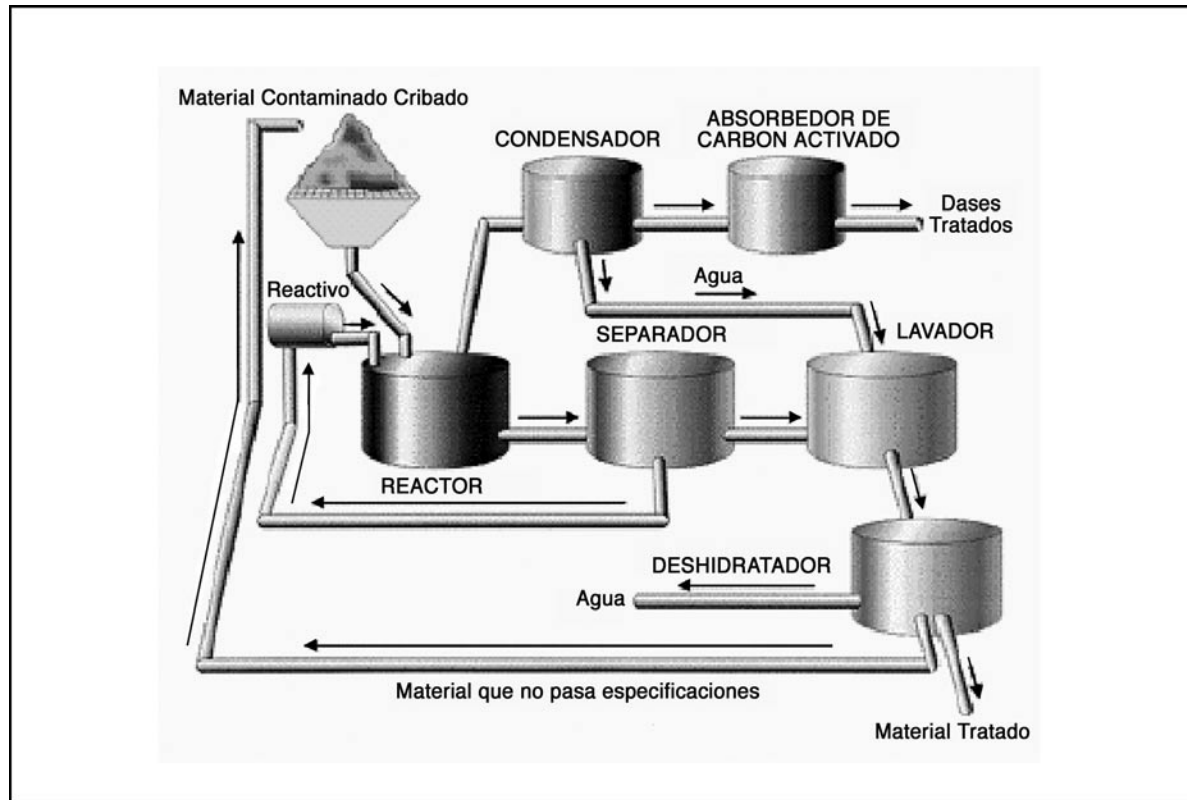
El APEG parece funcionar con relativa eficacia a temperaturas adecuadas (superficies soleadas) y la técnica, en su conjunto, tiene visos de aplicabilidad si se emplea en combinación con tratamientos biológicos.

No se puede usar para tratar grandes cantidades de desechos, ni desechos con concentraciones de los contaminantes mayores al 5%.

#### Deshalogenación catalítica

La tierra contaminada se mezcla con bicarbonato de sodio, en una relación de 5/1 y se calienta a 400°C. Los compuestos orgánicos se volatilizan, la tierra que sale del reactor se considera limpia y se envía de nuevo al sitio de donde se extrajo. No se tiene que recuperar ningún reactivo de la tierra tratada. Los vapores que se producen pasan a un reactor, donde tiene lugar la deshalogenación catalítica del tóxico. El catalizador es hidróxido de sodio (Figura 47).

**FIGURA 47: DESHALOGENACIÓN**



Fuente: EPA, Guías del Ciudadano. [www.cluin.org](http://www.cluin.org)

El equipo que se usa es transportable, se puede llevar al sitio contaminado, lo que evita el transporte de desechos peligrosos. El equipo es más fácil de armar que los incineradores.

**Aplicabilidad:** La deshalogenación se puede usar para eliminar bifenilos policlorados, plaguicidas, algunos herbicidas y dioxinas. Es una de las pocas técnicas que ha sido probada exitosamente para la eliminación de los PCBs e igualmente se recomienda su aplicación para áreas pequeñas.

**Limitaciones:** Puede influir en la efectividad de la aplicación el alto contenido de arcillas en el suelo, y concentraciones de compuestos orgánicos clorados mayores al 5% requiriendo grandes volúmenes de reactivos e incrementando los costos.

**Costos:** Los costos oscilan entre los USD\$220 y US\$ 550 por m<sup>3</sup> o tonelada, sin incluir costos por excavación, relleno, disposición de residuos o costos de análisis.

### **Extracción Química**

También denominada extracción por solventes, no es una técnica de destrucción sino que separa o extrae los contaminantes del suelo, sedimento o lodo, reduciendo el volumen de desechos peligrosos que deben ser tratados. Utiliza solventes orgánicos como extractante.

Generalmente esta técnica es usada en combinación con otras tecnologías, tales como, solidificación/estabilización, incineración o lavado de suelo, dependiendo de las características específicas del sitio.

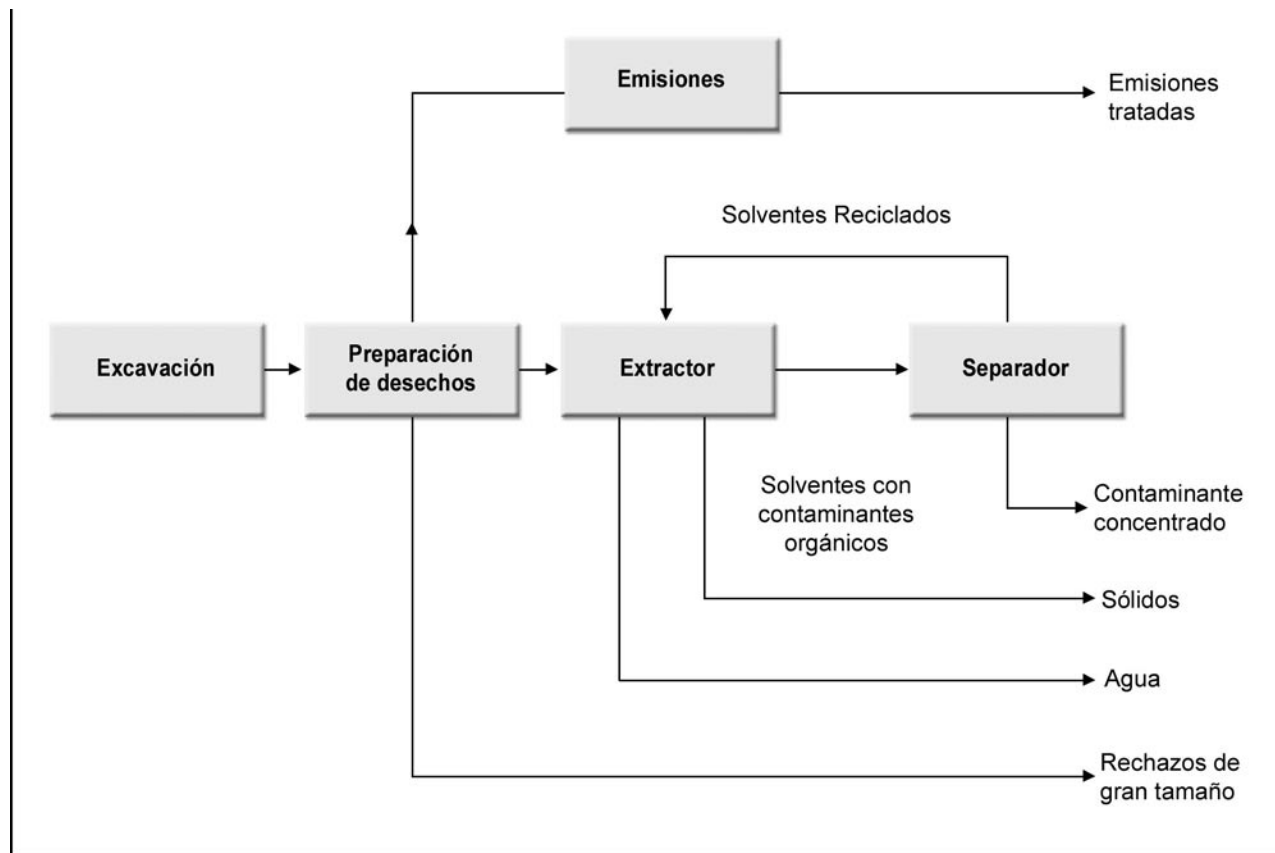
Consiste en mezclar el suelo contaminado con el solvente en un extractor, donde se disuelven los contaminantes, y el solvente se drena en un separador donde se separan los químicos del solvente. Por lo general el solvente suele reciclarse y reutilizarse para limpiar otros suelos, en caso contrario, éstos pueden ser destruidos o desechados en un vertedero. Si luego del tratamiento hay restos de solventes en el suelo, éste último se calienta a fin de eliminarlo, ya que el calor evapora el solvente y lo convierte en gas que a su vez se extrae del suelo, y a medida que se enfría el gas, se convierte nuevamente en un líquido solvente que se puede reciclar y reutilizar<sup>22</sup>.

La duración del proceso es a mediano plazo, requiere menos de un año, según el sitio.

---

<sup>22</sup> EPA, [www.cluin.org](http://www.cluin.org)



**FIGURA 48: EXTRACCIÓN QUÍMICA**

Fuente: EPA, Guías del Ciudadano. [www.cluin.org](http://www.cluin.org)

**Aplicabilidad:** Se ha aplicado con éxito en el tratamiento de suelos, lodos o sedimentos que contengan PCBs, pesticidas/insecticidas, solventes halogenados, aceites y grasas, desechos de tratamiento de madera, desechos de refinería de petróleo, lodos de perforación, entre otros.

**Limitaciones:** Algunos factores que pueden afectar la efectividad del proceso son: tipo de suelo y contenido de humedad, alto contenido de arcilla, el cual requiere de tiempos mas largos; trazas de solvente pueden quedar remanentes en el suelo mezclado, las cuales deben tenerse en cuenta por su toxicidad; es menos eficiente en compuestos orgánicos de alto peso molecular y muy hidrofílicos.

**Costos:** Los costos de capital son relativamente altos y la tecnología debe ser mas económica al tratar grandes áreas. Los costos estimados varían entre USD\$100 a \$400 por tonelada, dependiendo del volumen a tratar.

### **Adsorción por Medio de Carbón Activado**

El carbón activado se obtiene mediante el tratamiento térmico y activación de un material con alto contenido de carbono (carbón mineral, lignito, turba, carbón vegetal). Se trata de una sustancia que posee la propiedad de contar con una gran superficie interior (400-1500 m<sup>2</sup>/g), lo que la convierte en un buen adsorbente.

Respecto del proceso de adsorción, se entiende como el enriquecimiento de una sustancia sobre la superficie de otra en la fase sólida más próxima. El carbón activado es el adsorbente en cuyos centros activos la sustancia tratada es adsorbida. Se distinguen dos mecanismos:

#### • **Adsorción física**

- La sustancia adsorbida no se transforma.
- Se efectúa mediante interacciones electrostáticas y electrocinéticas (fuerzas de van der Waals).

#### • **Adsorción química**

- Se produce una transformación química de las moléculas adsorbidas al tener lugar un enlace químico, el cual es de gran estabilidad.
- La adsorción química constituye un caso especial que se logra sólo con un tratamiento especial del carbón activado.

La adsorción con carbón activado es el procedimiento más universal y frecuentemente empleado en la purificación de las aguas subterráneas.

**Aplicabilidad:** Existen tres campos principales de aplicación:

- Como procedimiento fundamental de purificación para la eliminación de sustancias tóxicas.
- Como proceso complementario al stripping.
- Purificación refinada, por ejemplo, después del tratamiento biológico u oxidación de las sustancias tóxicas.

Casi todos los compuestos orgánicos que se encuentran en las aguas subterráneas pueden ser adsorbidos en menor o mayor grado, sobre todo los compuestos unipolares. Existe suficiente experiencia en la separación de las siguientes sustancias tóxicas:

- Aceites minerales disueltos.
- Hidrocarburos aromáticos (BTEX).

- Hidrocarburos clorados (clorobencenos, clorofenoles, policlorobifenilos).
- Hidrocarburos policíclicos aromáticos (naftaleno, antraceno, etc.).
- Pesticidas
- Fenoles.
- Productos fitosanitarios.

Menos efectiva resulta la adsorción de las sustancias orgánicas volátiles que se encuentran en el agua, pues la carga de estas sustancias en el carbón activado no sobrepasa el 1%. El grado de purificación alcanzable depende de:

- Tiempo de contacto (tiempo de tratamiento) con la sustancia contaminante,
- presencia de otras impurezas y
- presencia de sustancias perturbadoras que afectan negativamente la adsorción.

En la práctica la purificación de las aguas subterráneas se realiza a través de un filtro compuesto por una capa de carbón activado granulado cuyo grosor oscila entre 1-3 m. La carga del carbón activado con las sustancias tóxicas oscila entre 0,5 – 7 %. Las sustancias en suspensión deben ser extraídas antes de su penetración en el filtro de carbón activado por medio de sedimentación o filtración por arena, debiendo tener en consideración que:

- Concentraciones de hierro superiores a 1 mg/l deben evitarse.
- Altas concentraciones de aceites minerales se eliminan por medio de un separador de aceite.

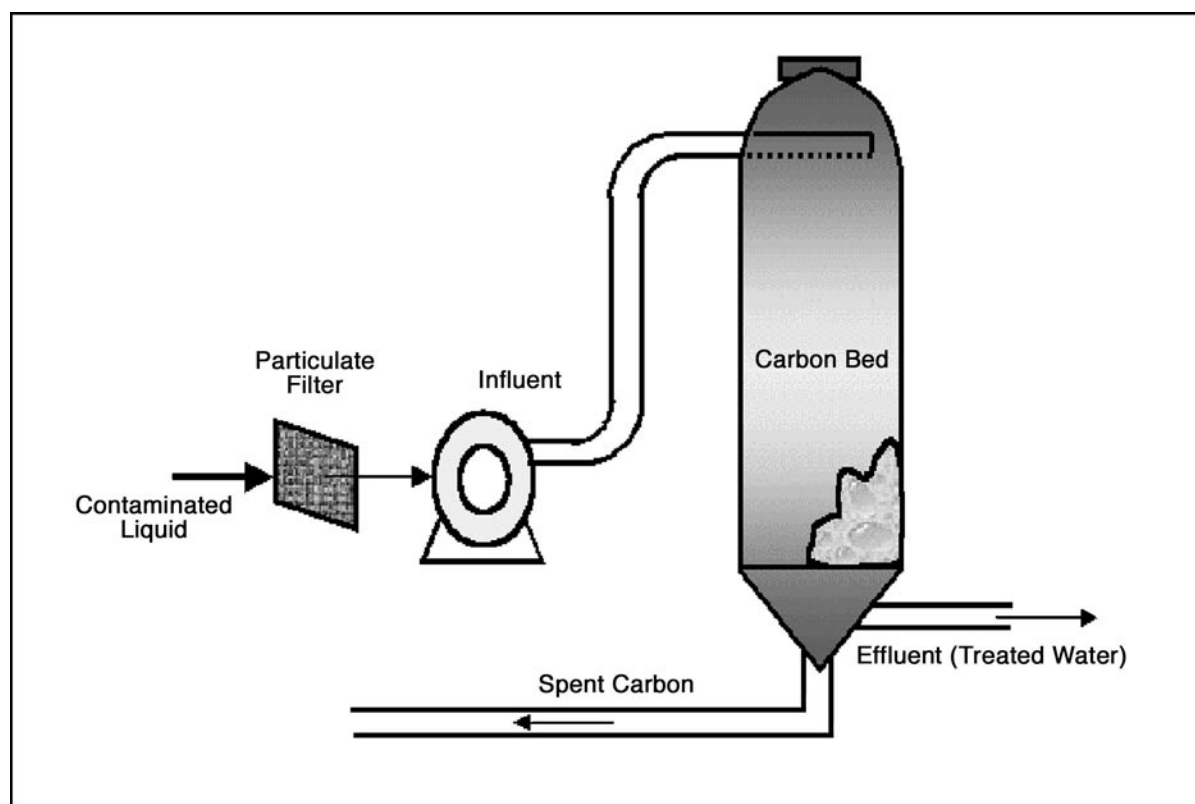
Las oscilaciones de la concentración en el afluente se evitan por medio de un tanque regulador. El tiempo de tratamiento de las aguas contaminadas en el filtro varía entre 7 a 10 minutos aproximadamente, cuando la velocidad de la corriente que lo atraviesa es de 10-15 m/hr. Cuando se esté en presencia de mezclas de sustancias tóxicas debe adecuarse el filtro a la sustancia de menor adsorción. En la práctica, los vinilcloruros y dicloretilenos pueden crear dificultades debido a su baja capacidad de ser adsorbidos, en tal caso se requiere eventualmente de un procedimiento adicional de purificación para eliminar estos compuestos.

La regeneración del carbón activado utilizado es factible, debiendo considerar lo siguiente:

- El carbón activado regenerado posee como promedio el 95% de capacidad de adsorción de un carbón activado aún no usado.

- Debido a la presencia de restos de sustancias tóxicas en los poros, su utilización puede crear dificultades
- La regeneración de carbón activado cargado con sustancias volátiles se puede realizar por medio de vapor. Después el vapor que contiene sustancias tóxicas se condensa para luego eliminar las sustancias tóxicas.
- De no ser posible la regeneración con vapor, esta puede efectuarse por combustión a una temperatura entre 800 – 1000°C
- Con frecuencia el carbón activado usado se elimina mediante la incineración o deposición.

**FIGURA 49: ADSORCIÓN POR CARBÓN ACTIVADO**



Fuente: EPA, Guías del Ciudadano. [www.cluin.org](http://www.cluin.org)

**Limitaciones:** La presencia de múltiples contaminantes pueden afectar la efectividad del proceso. Los flujos de agua con alto contenido de sólidos suspendidos ( $> 50 \text{ mg/l}$ ) y contenido de aceites y grasas ( $> 10 \text{ mg/l}$ ) pueden incorporar muchas impurezas y daños en el carbón, haciendo necesario la limpieza de éste mas frecuente.

**Costos:** Depende del tipo de contaminante, de las tasas de flujo a tratar, de la concentración del contaminante, de la concentración del efluente y requerimientos del sitio. Los costos son bajos con niveles de concentraciones bajas y altas velocidades de flujo. Para velocidades de flujo de 0.4 millones de litros por día (0.1 mgd) el valor incrementa de USD\$0.32 a USD\$1.70 por cada 1000 litros tratados (\$1.20 a \$6.30 por 1000 galones) Los costos pueden ser altos si se usa como un tratamiento primario en flujos de agua con altas concentraciones de contaminantes.

### 7.6.3. TRATAMIENTO TÉRMICO EX SITU

En general, los tratamientos térmicos ofrecen rápidas soluciones de limpieza pero son típicamente el grupo más costoso de las tecnologías. Esta diferencia, sin embargo, es menor en los tratamientos Ex situ que en los In situ. El costo esta dado por la energía, los equipos, las operaciones y la administración del proyecto. Utilizan calor para aumentar la volatilidad (separación); incineración, descomposición, o destrucción; o funde (inmovilización) los contaminantes.

#### Incineración<sup>23</sup>

En la incineración la combustión de los contaminantes se consigue sometiendo al suelo a altas temperaturas (870 a 1200°C). El tratamiento se desarrolla en dos fases. En una se oxidan la mayor parte de los contaminantes. El proceso se completa en la segunda fase en la que se mantiene al suelo a altas temperaturas durante el tiempo necesario para conseguir la destrucción completa de los contaminantes y se eliminan todos los gases. Para depurar los gases residuales se incorpora un sistema de limpieza.

En esta técnica, se encuentra en proceso de investigación el diseño de unidades de tratamiento que superponen al efecto clásico de la incineración, y la posibilidad de hacer reaccionar en la fase gaseosa, a elevadas temperaturas, el hidrogeno con los contaminantes orgánicos para producir moléculas más pequeñas y menos tóxicas. Esquemáticamente el proceso comienza con la dilución de la carga con agua o disolventes hasta conseguir una proporción no superior al 20% de contenido en sólido. A continuación se precalienta la carga que es enviada al cuerpo del reactor a través de boquillas de atomización, la temperatura no es inferior a 950° C, recogiénose la fracción sólida en un tanque inferior, mientras que los gases ascienden por el tubo cerámico central.

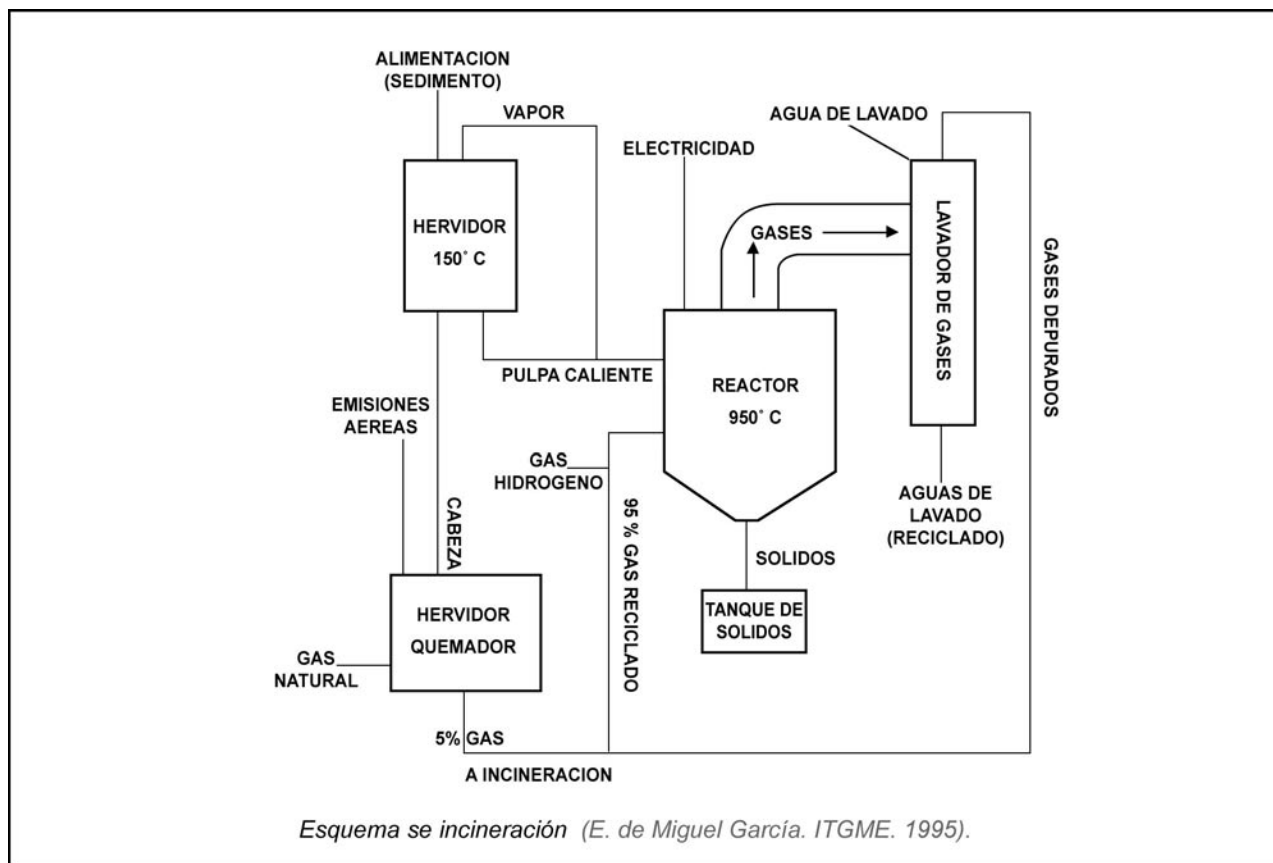
Un sistema de estas características alcanza, un grado de destrucción de hidrocarburo, poli aromáticos, PCBs o cloro fenoles superiores al 99% en el conjunto del proceso.

**Aplicabilidad:** Es un método muy útil para eliminar la contaminación producida por hidrocarburos poliaromáticos, PCBs, dioxinas y clorofenoles. Se ha usado en mas de 150 sitios superfund, y es uno de los métodos mas utilizados actualmente.

**Limitaciones:** Esta y otras técnicas de incineración presentan diferentes problemas. Por una parte, los metales pesados no son eliminados y quedan acumulados en el residuo sólido. Además, el suelo o sedimento original sufre una alteración fundamental de sus características, como son el contenido en humedad, materia orgánica y micro fauna y una reducción importante en el volumen primitivo del mismo.

**Costos:** El tratamiento de incineración para suelos contaminados con PCB's o dioxinas cuesta entre USD\$1500 a US\$ \$6600 por tonelada.

<sup>23</sup> Instituto Tecnológico Geominero de España 1995

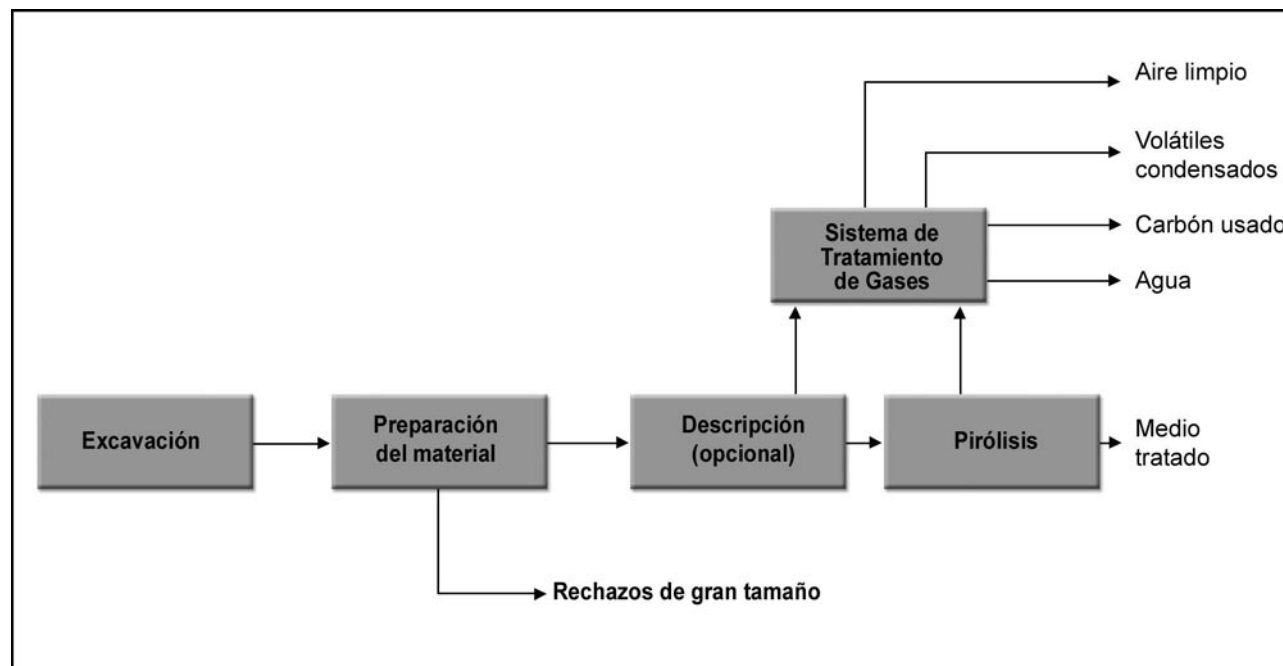
**FIGURA 50: ESQUEMA DE INCINERACIÓN**

Fuente: EPA, Guías del Ciudadano. [www.cluin.org](http://www.cluin.org)

### **Pirólisis**

Corresponde a la descomposición química de materiales orgánicos por medio de calor en ausencia de oxígeno. La pirólisis se lleva a cabo habitualmente a temperaturas de entre 400 °C y 800 °C. A estas temperaturas los residuos se transforman en gases, líquidos y cenizas sólidas denominadas “coque” de pirólisis. Las proporciones relativas de los elementos producidos dependen de la composición de los residuos, de la temperatura y del tiempo que ésta se aplique. Una corta exposición a altas temperaturas recibe el nombre de pirólisis rápida, y maximiza el producto líquido. Si se aplican temperaturas más bajas durante períodos de tiempo más largos, predominarán las cenizas sólidas.

Los gases de la pirólisis requieren de tratamiento posterior. Convencionalmente se utilizan los mismos hornos para la incineración, el horno rotatorio, el horno de lecho fluidizado y también se usa el proceso de fundición por sal.

**FIGURA 51: ESQUEMA TRATAMIENTO PIRÓLISIS**

Fuente: EPA, Guías del Ciudadano. [www.cluin.org](http://www.cluin.org)

**Aplicabilidad:** Esta es una tecnología emergente, y aun no ha sido evaluada de acuerdo a los métodos de la EPA. Esta enfocada hacia el tratamiento de los PCBs, dioxinas, PAHs y otros compuestos orgánicos.

**Limitaciones:** Existen requerimientos de tamaño y manejo de los materiales a ser tratados que influyen en la aplicabilidad o costos del proceso; se requiere secar el suelo para alcanzar un bajo contenido de agua (<1%); materiales con alto contenido abrasivo pueden dañar el sistema.

**Costos:** El costo total de la remediación de un sitio contaminado de aproximadamente 20.000 ton es de USD\$300/ton.

#### Desorción térmica

La desorción térmica es otro proceso térmico, que se puede aplicar in situ o ex situ. Se aplica calor y/o vapor a fin de volatilizar los contaminantes orgánicos (de peso molecular no muy elevado, como los lubricantes, aceites minerales, gasolinas, etc.) y recolectarlos en circuitos cerrados. Existen también métodos que aplican temperaturas suficientemente altas para oxidar los contaminantes orgánicos por completo.

La desorción térmica elimina las sustancias químicas dañinas del suelo y otros materiales, como lodo y sedimentos, utilizando calor para transformar dichas sustancias químicas en gases. Esos gases se recolectan empleando un equipo especial. El polvo y las sustancias químicas dañinas se separan de los gases y se eliminan con seguridad y el suelo limpio se regresa al sitio. La desorción térmica no es igual a la incineración, que se emplea para destruir las sustancias químicas.

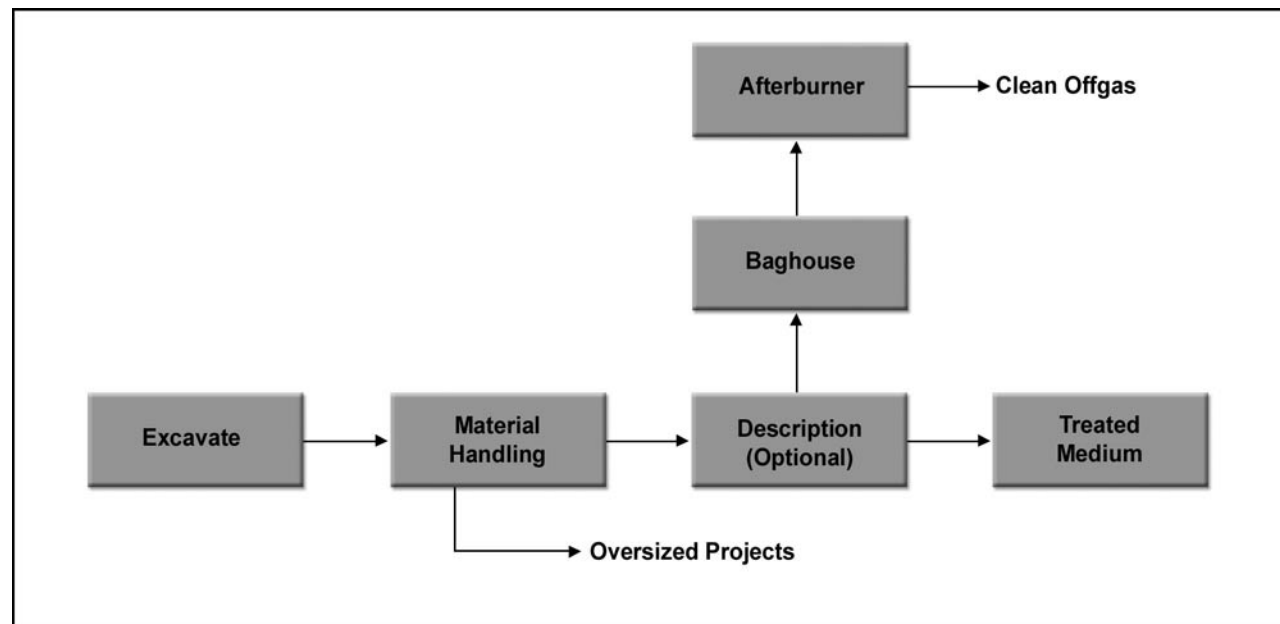
La desorción térmica emplea un equipo denominado desorbedor para limpiar los suelos contaminados. Los suelos se extraen mediante excavación y se cargan en el desorbedor. Ese equipo funciona como un gran horno. Cuando los suelos se calientan lo suficiente, las sustancias químicas dañinas se evaporan. Para preparar los suelos para el desorbedor, se deberá triturarlos, secarlos, mezclarlos con arena o extraerles los detritos. De ese modo el desorbedor puede limpiar los suelos de manera más pareja y fácil.

Dependiendo de la temperatura de operación del desorbedor, se puede categorizar en dos grupos:

- Desorción Térmica a Alta Temperatura (HTTD), entre 320 y 560 °C (600 a 1,000 °F); generalmente se combina con otros tratamientos como solidificación/estabilización, incineración, o declorinación dependiendo de las condiciones específicas del sitio.
- Desorción Térmica a Baja Temperatura (LTTD), entre 90 y 320 °C (200 a 600 °F, se enfoca mas hacia tratamientos de compuestos orgánicos volátiles no halogenados.

Durante cada paso del proceso, se emplea equipamiento especial para controlar el polvo del suelo y recolectar los gases dañinos que se liberan al aire. Los gases contaminados se separan del aire limpio utilizando un equipo de recolección de gases.

Los gases se convierten nuevamente en líquidos y/o materiales sólidos. Esos líquidos o sólidos contaminados se eliminan de manera segura. Antes de devolver el suelo limpio al sitio, se rocía con agua para refrescarlo y controlar el polvo. Si el suelo todavía contiene sustancias químicas dañinas, se limpia aun más volviéndolo al desorbedor.

**FIGURA 52: DESORCIÓN TÉRMICA A ALTA TEMPERATURA**

Fuente: EPA, Guías del Ciudadano. [www.cluin.org](http://www.cluin.org)

**Aplicabilidad:** La desorción térmica funciona bien en todos los sitios de suelos secos y con determinados tipos de contaminantes, como petróleo, alquitrán de hulla, sustancias químicas que preservan la madera, y los solventes. A veces la desorción térmica funciona donde no se pueden emplear otros métodos, como en sitios con gran cantidad de contaminación en el suelo.

La Desorción Térmica a Alta Temperatura, esta enfocada hacia los compuestos orgánicos semi volátiles (SVOCs), PAHs, PCBs, y pesticidas. Los sistemas de desorción térmica pueden descontaminar más de 20 toneladas de suelo contaminado por hora. El tiempo que demora eliminar la contaminación de un sitio mediante el empleo de la desorción térmica depende de lo siguiente:

- cantidad de suelo contaminado
- condiciones del suelo
- tipo y cantidad de sustancias químicas dañinas presentes



El control y el monitoreo de emisiones gaseosas es crítico en estas técnicas de remediación, a fin de evitar que se produzca contaminación atmosférica al tratar y remediar la contaminación del suelo.

**Limitaciones:** La descontaminación puede demorar sólo unas pocas semanas en sitios pequeños con poca cantidad de sustancias químicas. Estos métodos presentan el inconveniente de que el suelo queda completamente transformado, sin materia orgánica, sin micro-organismos, etc. Existen requisitos de tamaños específicos de partículas que pueden afectar la aplicabilidad del proceso. Suelos con alto contenido de arcillas y contenido húmico incrementan el tiempo de reacción como resultado del atascamiento de los contaminantes. Los materiales altamente abrasivos pueden dañar la unidad y aquellos con contenidos de metales pesados pueden requerir tratamiento adicional para la estabilización de éstos.

**Costos:** Se tienen solo costos referenciales de remediación de sitios contaminados con hidrocarburos y estos van desde USD\$40 a US\$300 /ton, con costos de transporte de la unidad entre US\$3 a 5 US\$ /ton, excavación de suelo contaminado entre USD\$6 a 10 por tonelada.

#### 7.6.4. TÉCNICAS DE CONFINAMIENTO

Para evitar que la contaminación se propague desde los suelos contaminados a áreas contiguas (ej. aguas superficiales, aguas subterráneas, suelos aledaños, aire), el suelo contaminado puede ser extraído y almacenado en rellenos apropiados, puede ser destruido totalmente o bien puede ser sellado in situ. Las técnicas de sellado in situ (también llamado confinamiento, encapsulamiento o aislamiento) se basan en el principio de inmovilización de contaminantes mediante la formación de barreras físicas alrededor de los mismos. El objetivo de estas técnicas es fijar los contaminantes<sup>24</sup> de modo que no puedan ser incorporados a las aguas subterráneas ni a la cadena trófica. Su aplicación no está muy extendida al existir una gran incertidumbre acerca de la duración en el largo plazo de las soluciones de inmovilización implementadas.

#### Rellenos sanitarios de seguridad (Landfill Cap)

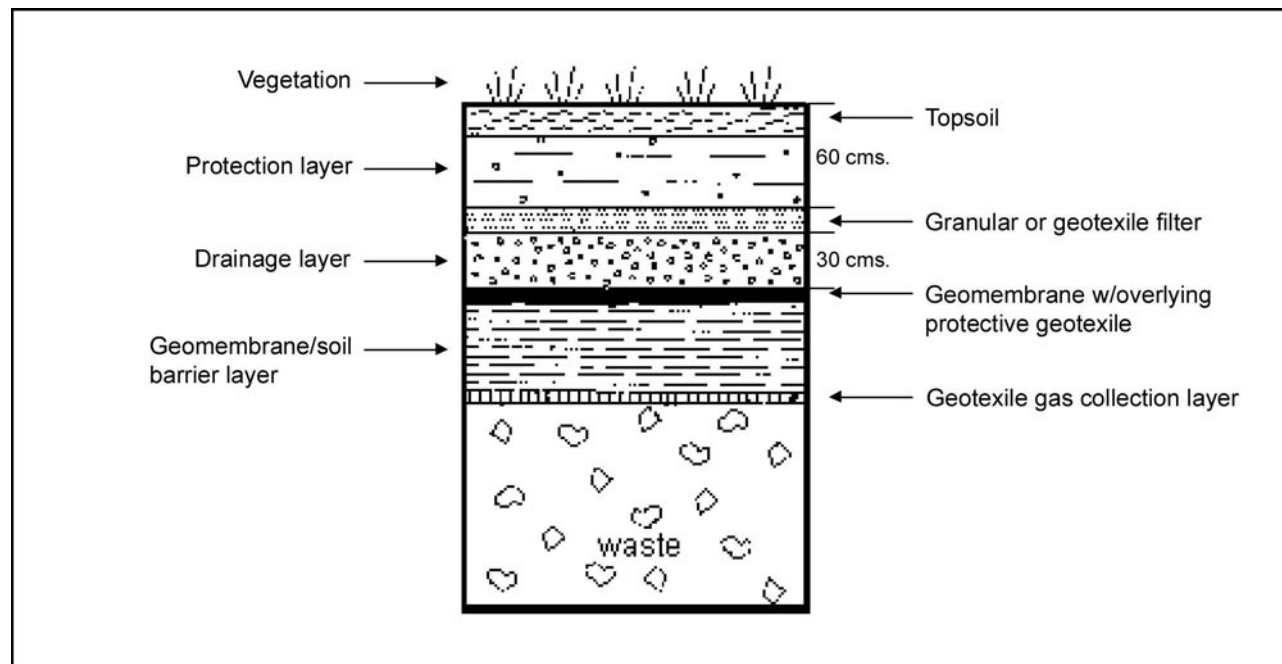
Son usados para controlar las fuentes de contaminación. El diseño de éste depende de las características del sitio y de los objetivos del sistema. Las funciones pueden ser para minimizar la exposición de los desechos en la superficie, prevenir la infiltración vertical del agua que puede crear lixiviación contaminada, contener los desechos mientras que se aplica el tratamiento, controlar las emisiones de gas de las capas subyacentes, crear una superficie que pueda soportar capas de vegetación y/o pueda ser usada para otros propósitos.

Esta técnica de remediación es la más común y menos costosa de todas las tecnologías y controla con eficiencia los riesgos humanos y ecológicos asociados a un sitio de contaminación. Se puede diseñar desde un sistema simple de una capa de suelo de vegetación o múltiples capas de vegetación y membranas geosintéticas. Generalmente, las áreas o climas húmedos requieren de un diseño más complejo que las áreas o climas secos. Entre los materiales que se pueden usar para la construcción, se encuentran los suelos con altas y bajas permeabilidades, productos geosintéticos de baja permeabilidad; los materiales de baja permeabilidad desvían el agua y previenen que migren hacia dentro y los de alta permeabilidad conducen el agua percolada hacia fuera.

Uno de los componentes críticos en la construcción de este sistema son las barreras y los drenajes, los cuales deben ser cuidadosamente seleccionados para que cumplan con su función. Los suelos de baja permeabilidad (arcilla) y/ arcillas geosintéticas pueden ser usadas, como también las geomembranas flexibles que están disponibles en varios espesores de acuerdo a los requerimientos de los diseños. También se debe tener en cuenta, dentro de la operación y diseño, el control de gases como metano y dióxido de carbono, entre otros.

El asfalto y el concreto también se usan para formar barreras superficiales entre el vertedero y el ambiente, ayudando a reducir la lixiviación hacia acuíferos.

<sup>24</sup> Instituto Tecnológico Geominero de España 1995

**FIGURA 53: LANDFILL CAP**

Fuente: EPA, Guías del Ciudadano. [www.cluin.org](http://www.cluin.org)

Para desechos peligrosos se utiliza el sistema de capas múltiples, que consisten en una capa vegetal superficial, una de drenaje, una de baja permeabilidad formada por una geomembrana sobre 2 pies de arcilla compactada.

**Aplicabilidad:** Este sistema puede ser usado temporalmente o definitivo. Temporalmente puede reducir la generación de lixiviados mientras que se espera una solución final y ayuda a minimizar la infiltración mientras las subcapas se compactan. Se puede aplicar en donde grandes masas de desechos hacen impráctico o costoso el uso de otro tipo de tratamiento.

Cabe señalar que ésta técnica no disminuye la toxicidad, movilidad o el volumen de desechos peligrosos sino que atenúan la migración.

**Costos:** Generalmente son menos costosas que otros tratamientos con montos de alrededor de USD\$43/m<sup>2</sup>.

### 7.6.5. TRATAMIENTO BIOLÓGICO IN SITU

#### **Bioremediación**

Las tecnologías de Bioremediación son todas aquellas tecnologías destinadas a remediar suelos contaminados en las cuales se hace uso de procesos biológicos, ya sea que promoviendo la actividad biológica establecida naturalmente en dicho suelo; microorganismos, organismos vivos y/o vegetales, o estableciendo dichos sistemas vivientes con el propósito de remediación. En general se separa la fitoremediación de la bioremediación en cuanto a que la primera hace uso de sistemas vegetales y la segunda de microorganismos y otros seres vivos.

La bioremediación consiste en el uso de microorganismos como levaduras, hongos o bacterias para descomponer o degradar sustancias peligrosas en sustancias menos tóxicas o que no sean tóxicas.

Ciertos microorganismos pueden digerir sustancias orgánicas peligrosas para los seres humanos, como combustibles o solventes. Los microorganismos descomponen los contaminantes orgánicos en productos inocuos, principalmente dióxido de carbono y agua. Una vez degradados los contaminantes, la población de microorganismos se reduce porque ha agotado su fuente de alimentos. Las poblaciones pequeñas de microorganismos sin alimentos o los microorganismos muertos no presentan riesgos de contaminación.

Si la actividad biológica que se necesita para degradar un contaminante en particular no está presente en el suelo del lugar, se pueden añadir al suelo contaminado microorganismos de otros lugares cuya eficacia se haya comprobado. Estos son microorganismos exógenos. Es posible que haya que modificar las condiciones del suelo del lugar nuevo para que los microorganismos exógenos proliferen. Las medidas biocorrectivas pueden aplicarse en condiciones aerobias y anaerobias.

La velocidad de descomposición por los microorganismos va a depender de su concentración, de determinadas características del suelo (disponibilidad de oxígeno, nutrientes, pH, humedad y temperatura) y de la estabilidad del contaminante.

Los métodos de bioremediación se pueden aplicar in situ a cielo abierto (landfarming) o bajo cubiertas o ex situ normalmente en instalaciones cubiertas o en reactores biológicos. La utilización de instalaciones cubiertas y reactores tienen ventajas en cuanto a las

posibilidades de controlar los parámetros operacionales, ya que la eficacia de estos métodos depende en gran medida de las labores de manejo.

Los factores que gobiernan la bioremediación son complejos y pueden variar enormemente dependiendo de la aplicación. En muchos casos puede llegar a ser difícil distinguir entre los factores bióticos y abióticos que contribuyen con la bioremediación.

**Aplicabilidad:** Es una tecnología limpia, en la cual los contaminantes orgánicos pueden ser transformados e incluso alguno de ellos completamente mineralizados hasta CO<sub>2</sub> y agua.

La bioremediación in situ es tal vez el método más simple para la limpieza de extensas zonas contaminadas, el suelo es tratado sin mediar excavación ni transporte de éste, lo que implica una alternativa económicamente satisfactoria de tratamiento; por otro lado, la principal desventaja es el largo tiempo requerido y la dificultad en determinar cuando se ha logrado un nivel aceptable de contaminación. La principal ventaja de los tratamientos Ex Situ radica en los cortos tiempos de degradación (comparados a los tratamientos In Situ), otra ventaja comparativa es la uniformidad lograda en el tratamiento. Sin embargo, la desventaja es que requiere excavación y traslado del material contaminado, incrementando de este modo notoriamente los costos.

**Limitaciones:** Entre sus desventajas, la bioremediación resulta muy difícil cuando el material geológico es arcilloso, debido a que su baja permeabilidad limita la transferencia de masa.

En escala real, demanda largos periodos de tratamiento, luego de lo cual se llega a una concentración a menudo alta para los estándares ambientales. Otra dificultad es que la bioremediación con un contaminante y en un sitio específico no puede generalizarse a otras situaciones, por la variedad de factores que están influyendo.

#### **Degradación Natural (Natural Attenuation)**

Este se refiere a todos los procesos que ayudan a reducir las concentraciones o masas totales de contaminantes en el suelo (degradación química y biológica, precipitación, dispersión, entre otros). La mayoría de estos procesos no han sido estudiados todavía de manera exhaustiva en el contexto de la remediación, sin embargo su potencial como una medida de remediación costo efectiva es indudable.

### 7.6.6. EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN

El cómo seleccionar la técnica de remediación más adecuada es una tarea de gran relevancia y, por cierto, muy compleja. Existen una serie de factores que deben ser tomados en cuenta como son: el riesgo presente, aplicabilidad técnica de las soluciones, nivel de consolidación de éstas, su costo, restricciones en el uso de la técnica, su posible impacto ambiental, disponibilidad en el país, entre otros.

Se debe considerar además cuál es el objetivo de la remediación. Los tres objetivos principales son:

- Protección de la salud humana y del medio ambiente
- Permitir el desarrollo de una nueva actividad (ej. viviendas)
- Protegerse de futuras responsabilidades y demandas

La gestión de sitios contaminados<sup>25</sup>, se basa en una estrategia de gestión del riesgo, y la decisión de implementar medidas de remediación dependerá de dos factores claves, como son:

- La contaminación genera riesgos actuales o potenciales para la salud humana y/o el medio ambiente
- Existen formas apropiadas y costo-efectivas de remediación, considerando el uso que se desea dar al sitio.

La gestión de riesgos aborda el tema de la ruta de exposición del contaminante. En otras palabras, el riesgo puede ser controlado rompiendo o interfiriendo en la ruta a través de la cual se mueven las sustancias nocivas, por ejemplo:

- a) Reduciendo o modificando la fuente
- b) Gestionando o rompiendo las rutas
- c) Modificando el receptor (ej. limitando el tipo de uso)

Existen una serie de variables que van a afectar los costos de operación de las distintas tecnologías de remediación, según se muestra en las siguientes Tablas, extraída de la USEPA.

La Federal Remediation Technologies Roundtable (FRTR) de los Estados Unidos ha desarrollado dos herramientas orientadas a apoyar el proceso de selección de las técnicas de remediación mas apropiadas. Una de ellas es la Matriz de Priorización de Tecnologías, la cual toma en cuenta criterios como tipo de contaminantes, estado de desarrollo de la técnica, costos y tiempo de remediación. Esta matriz considera 64 tecnologías, tanto in situ como ex situ, para la remediación de suelo y aguas subterráneas contaminadas. La segunda herramienta es la Matriz de Muestreo y Análisis, la cual pretende ser una ayuda a la selección de tecnologías de caracterización y monitoreo del sitio contaminado.

Mayores antecedentes sobre estas matrices pueden ser encontrados en la siguiente dirección web:  
<http://www.frtr.gov/site/>

<sup>25</sup> Bardos, Martin and Kearney, "Framework for Evaluating Remediation Technologies", 10<sup>th</sup> Conference on Contaminated Land, London, July 1999

**TABLA 27: VARIABLES DEL SUELO QUE AFECTAN EL COSTO Y LA OPERACIÓN DE DIFERENTES TECNOLOGÍAS DE REMEDIACIÓN**

	Tipos de suelo		Propiedades del suelo						Materiales orgánicos			Otros
	Clasificación de suelos	Contenido de arcilla y distribución de tamaño de partículas	Conductividad hidráulica, permeabilidad al agua	Contenido de humedad	Permeabilidad al aire	pH	Porosidad	Transmisividad	Contenido de carbono orgánico	Contenido de aceites y grasas o hidrocarburos totales (TPH)	Líquidos en fase no acuosa	
<b>Remediación de suelos In Situ</b>												
Bioventeo												
Extracción de vapores												
Soil flushing												
<b>Remediación de Suelos Ex Situ</b>												
Compostaje												
Landfarming												*
Tratamiento biológico lodos												
Lavado de suelo												*
Solidificación/estabilización												*
Desorción térmica												
Incineración												*
<b>Remediación de Aguas Subterráneas</b>												
Bioaumentación												
Air sparging												
Bombeo agua subterránea												

\*: Otras características incluyen capacidad de campo para tratamiento del suelo, capacidad de intercambio catiónico del suelo, lavado de residuos con trazas de metales, poder calorífico, contenido de halógenos y metales para incineración, y densidad bulk y límite menor de explosión para desorción térmica.

**TABLA 28: VARIABLES DE OPERACIÓN QUE AFECTAN COSTO Y OPERACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE REMEDIACIÓN**

	Variables del sistema										Variables de actividad biológica						
	Velocidad flujo de aire	Velocidad de mezclado / Frecuencia	Contenido de humedad	Presión de operación	pH	Velocidad de bombeo	Tiempo de residencia	Throughput sistema	Temperatura	Componentes de la solución de lavado (aditivos y dosis)	Concentración de biomasa	Actividad microbiana	Velocidad aporte oxígeno	Evolución de CO <sub>2</sub>	Degradación de hidrocarburos	Nutrientes y otros requerimientos del suelo	Velocidad de carga del sólido
<b>Remediación In Situ</b>																	
Bioventeo																	
Soil flushing																	
Extracción de vapores																	
<b>Remediación Ex Situ</b>																	
Compostaje																	
Landfarming																	
Tratamiento biológico lodos																	
Lavado de suelo																	
Estabilización (*)																	
Desorción térmica																	
Incineración																	
<b>Remediación de Aguas Subterráneas</b>																	
Biorremediación in situ																	
Air sparging																	
Bombeo agua subterránea																	

\*: Otros parámetros de operación para la estabilización incluyen tipos de aditivos y dosis, tiempo de curado, tensión compresiva, aumento de volumen, densidad bulk y permeabilidad.

En base a las técnicas evaluadas para la remediación de suelos contaminados con COPs, se ha desarrollado la siguiente tabla que permite una visión general resumida de las posibilidades existentes hoy en día a nivel internacional, con algunas de las características y limitaciones que deben ser evaluadas y contrastada con la realidad nacional, para determinar cual de las técnicas puede ser aplicada y/o adaptada de acuerdo a cada caso en particular en el país, en cuanto a Dioxinas y Furanos y a los PCBs.

Es importante tener siempre en cuenta que no existe una solución general al problema de contaminación por COPs ni una tecnología única, debido a que cada sitio es único, tanto la estrategia de evaluación de riesgo como la selección de la mejor opción de remediación debe estar basada en factores y riesgos específicos de cada sitio y de la realidad nacional del país, como así mismo de los objetivos de la remediación. Todo ello hace inapropiado realizar generalizaciones acerca de dónde y cómo una solución particular puede ser efectiva.

**TABLA 29: TECNOLOGÍAS SELECCIONADAS PARA TRATAR COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES**

Técnica	Modalidad	Recuperación suelo	Aplicabilidad/comentarios	Costo Relativo	Nivel de desarrollo	Limitaciones
Excavación y confinamiento en relleno seguridad	Ex situ	NO	Pérdida del Suelo No es posible atacar la contaminación de las Aguas Subterráneas Suelo contaminado permanece como pasivo	400.000 a 1.700.000 US\$ /Ha	Ampliamente usado	
Vitrificación	IN SITU	NO	Suelos contaminados con PCBs, y/o dioxinas Requiere gran cantidad de electricidad.	375 a 425 US\$/ ton	Ampliamente usado	Requiere presencia de material vitrificante, Contenido de humedad alto
Deshalogenación	IN SITU	NO	PCBs, plaguicidas, algunos herbicidas y dioxinas. Compuestos Halógenos	220-550 US\$/ ton	En uso, probada exitosamente para PCBs	El suelo debe contener bajos porcentajes de arcilla y niveles de contaminantes clorados menores al 5%
Adsorción en carbón activado	EX SITU	SI	Compuestos orgánicos semivolátiles, pesticidas, volátiles	0.32-1.70 US\$/1000 litros tratados	Ampliamente usado	Flujos con alto contenido de sólidos suspendidos (>50ppm)
Incineración	EX SITU	NO	PCBs, Dioxinas, clorofenoles, Hidrocarburos poliaromáticos. Requiere de recolección y tratamiento de gases.	1500-6600 US\$/ ton	Ampliamente usado en mas de 150 superfund de USA	Los metales pesados no son eliminados. Alteración de características del suelo.

Técnica	Modalidad	Recuperación suelo	Aplicabilidad/comentarios	Costo Relativo <sup>26</sup>	Nivel de desarrollo	Limitaciones
Pirólisis	EX SITU	NO	Enfocada hacia tratamiento de PCBs, Dioxinas, HPA, Compuestos Organo-Clorados.	300 US\$/ton aproximadamente	Tecnología emergente	Contenido de humedad, tamaño de las partículas.
Desorción Térmica	EX SITU	NO	PCBs, Pesticidas, Hidrocarburos poliaromáticos. Requiere de recolección y tratamiento de gases. Se pueden generar residuos concentrados.	40 a 300 US\$/ ton	Ampliamente usado	El suelo debe contener bajos porcentajes de arcilla y contenido húmico. Contenido de materiales abrasivos y metales pesados.
Extracción química mediante Solventes	EX SITU	NO	Suelos, lodos o sedimentos con PCBs, pesticidas/ insecticidas, entre otros	> 100 US\$/ m <sup>3</sup>	Ampliamente usado y bien documentado	Tipo de suelo y contenido de arcilla y humedad. Compuestos de alto peso molecular y muy hidrofílicos.
Bioremediación (ex situ)	EX SITU	SI	Hidrocarburos. Compuestos Clorados Requiere de grandes áreas y del control de emisiones fugitivas.	100 a 200 US\$/ m <sup>3</sup>	Ampliamente usado	Aplicable principalmente a suelos de zona no saturada (hasta 95% recuperación). Requiere de grandes áreas y del control de emisiones fugitivas. Requiere de ensayos piloto para establecer cinéticas de biodegradación.
Bioremediación (in situ)	IN SITU	SI	Sólo contaminantes biodegradables. Pueden ser difíciles de iniciar y mantener. Susceptibles a los efectos de heterogeneidad del medio y los contaminantes.	30 a 100 US\$/ m <sup>3</sup>	Ampliamente usado, éxito variable, requiere investigación	Aplicable a la zona saturada. Solo para suelos permeables. Requiere de ensayos piloto para establecer cinéticas de biodegradación.

1 incluye técnicas de aislamiento y encapsulamiento

Fuente: EPA 2001; EPA 2002

<sup>26</sup> Basado en antecedentes de: Remediation Technologies Screening Matrix, Federal Remediation Technology Roundtable ([www.frtr.gov/matrix2](http://www.frtr.gov/matrix2)) (FRTR)



Hoy en día a escala nacional, las tecnologías disponibles son escasas o casi nulas, por lo tanto, se recomienda que de acuerdo a los resultados obtenidos de las muestras analizadas<sup>27</sup> llevadas a cabo en las diferentes comunas en cuanto a Dioxinas y Furanos y PCBs y a la problemática social económica y técnica de cada comuna, se estudie la posibilidad de desarrollar y/o adaptar una tecnología que pueda ser aplicada de acuerdo a los requerimientos específicos del problema y de los objetivos a lograr de recuperación del sitio que sea costo efectiva para el país.

#### 7.6.7. COSTOS DE REMEDIACIÓN

Cabe señalar que la estimación de costos promedios es bastante arriesgada, pues la remediación de un sitio y los costos asociados dependerá de las condiciones de cada caso. Lo que sí puede ser de utilidad es conocer los aspectos que deben ser costeados. En efecto, los principales ítems a costear incluyen: personal, insumos, movimientos de tierra, preparación del área, costos de la tecnología seleccionada (arriendo o adquisición de equipos), costos de sondeos para pozos de observación y pozos de saneamiento, caracterización del contaminante y del sitio, monitoreo de las medidas puestas en práctica, entre otros.

Por otro lado, como en Chile la experiencia en este ámbito es escasa, a continuación se presentan algunos de los ítems involucrados previos al proceso de llevar a cabo una remediación:

**TABLA 30: ALGUNOS COSTOS REFERENCIALES E ÍTEMS PREVIOS A TENER EN CUENTA PARA LLEVAR A CABO UN TRABAJO DE REMEDIACIÓN**

ITEM	COSTO REFERENCIAL (en Dólares Americanos)
Sondaje con muestreador	\$ 150/m
Análisis de Dioxinas y Furanos	\$ 1250/ muestra
Análisis de COPs: incluye un grupo de pesticidas	\$ 297,50/muestra
Análisis de PCB total, suelos o aguas	\$ 180/muestra
Análisis de suelo: porosidad, permeabilidad, granulometría	\$ 300/ muestra
Monitoreo	\$ 300-1.500/ punto de observación
Carbón activado para adsorción*	\$ 4/ kilo

\* en caso de usar la tecnología de Adsorción por medio del carbón para tratar aguas subterráneas

Fuente: Elaboración propia sobre la base de cotizaciones en el país.

A estos costos hay que agregarle los costos de logística, administración y personal, entre otros, además de los costos de los equipos a usar de acuerdo a la tecnología a implementar.

<sup>27</sup> Ver Capítulo Plan de Muestreo y análisis de resultados del Informe Final del mismo.

