

CAPÍTULO VII MEDIDAS DE RESTAURACIÓN Y EVALUACIÓN FINAL

INDICE

	Pág.
1 ALTERNATIVAS TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN	1
2 CONTENIDOS DE UN PROYECTO DE RESTAURACIÓN	3
2.1 ESTUDIO A NIVEL DE PERFIL (INGENIERÍA CONCEPTUAL)	3
2.2 EVALUACIÓN DETALLADA DE LOS RIESGOS.....	3
2.3 ESTUDIO DE VIABILIDAD (INGENIERÍA BÁSICA).....	4
2.3.1 <i>Objetivos de protección</i>	4
2.3.2 <i>Definición de las metas de restauración</i>	4
2.3.3 <i>Aspectos Legales</i>	4
2.3.4 <i>Desarrollo, Evaluación y Selección de Alternativas</i>	4
2.3.5 <i>Descripción de la Solución Propuesta</i>	4
2.3.6 <i>Anexos</i>	4
3 EVALUACIÓN FINAL Y CIERRE.....	4
3.1 OBSERVACIONES EN TERRENO.....	4
3.2 MONITOREO	4
3.3 EVALUACIÓN	4
3.4 CIERRE O SEGUIMIENTO	4

CAPÍTULO VII

MEDIDAS DE RESTAURACIÓN Y EVALUACIÓN FINAL

El presente Capítulo tiene por objetivo realizar una breve descripción de las alternativas técnicas de restauración del medio ambiente (suelos, aguas), de los estudios de viabilidad y evaluación final.

En general, el tema de aguas superficiales es menos relevante en esta etapa; la descripción de medidas de restauración estará enfocado en la recuperación de suelos y aguas subterráneas.

1 ALTERNATIVAS TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN

En términos generales se distinguen las siguientes estrategias de recuperación o restauración:

- **Aislamiento:** Medidas tendientes a evitar el contacto entre los suelos contaminados y el medio de transporte (el contacto directo, el viento o flujos de agua):
 - Pavimentación;
 - Aislamiento mediante barreras (a través de muros inyectados);
 - Aislamiento mediante medidas hidráulicas (bombeo).

Son aplicables a todo tipo de contaminantes: hidrocarburos u otros compuestos orgánicos, inorgánicos (metales pesados, ácidos, cianuro, etc.). Constituyen un complemento a las técnicas de recuperación *in-situ*, o una alternativa cuando las características del suelo y la profundidad de la contaminación no permiten la aplicación de dichas técnicas.

- **Inmovilización:** Tiene por objetivo fijar los contaminantes, de modo de evitar que sean incorporados a las aguas o la cadena trófica. Incluye las siguientes técnicas:
 - Vitrificación;
 - Solidificación;
 - Encapsulación;

En general, son aplicables a los contaminantes inorgánicos: metales pesados.

- **Técnicas de Descontaminación In-Situ:** El suelo o las aguas subterráneas son tratadas en su localización original, sin existir traslado dentro o hacia el exterior del predio. Incluye las siguientes técnicas:
 - Bioremediación *in-situ* (inyección de oxígeno, nutrientes o surfactantes);
 - Técnicas de extracción (lavado con agua, extracción ácida, lavado de alta presión, electro-recuperación);

- Descloración por dispersión mediante reacciones químicas (DCR-dechlorination) o con APEG;
- Extracción de vapores (extracción en vacío, ventilación forzada, aireación, vaporización *in-situ*); y
- “*Stripping*” con vapor de agua o aire caliente.

Los métodos de tratamiento *in-situ* tienen ventajas de costos, pero a su vez tienen una serie de limitaciones: generalmente no son aptas en suelos muy impermeables y/o en caso de una contaminación de mayor profundidad.

- **Técnicas de Descontaminación Ex –Situ:** El suelo contaminado es excavado, transportado y tratado en una instalación autorizada para tales efectos (dentro o fuera del predio donde ocurrió la emergencia). Incluye las siguientes técnicas:

- Tratamiento biológico aeróbico (landfarming, compostaje);
- Tratamiento biológico anaeróbico;
- Lavado de suelos;
- Tratamiento físico-químico de los suelos;
- Incineración.

Aplicable a todo tipo de contaminantes (orgánicos o inorgánicos), generalmente con costos mayores que las técnicas *in-situ*.

- **Técnicas de Puesta en Contacto (“Delivery techniques”)**
 - Fracturación hidráulica,
 - “Kerfing”,
 - Zanjas de Intercepción(Fuente: IGTE, 1995)

En el Proyecto FDI “Riesgos Ambientales Asociados a Sitios Contaminados” (Fundación Chile, 2003) se entrega una descripción detallada de las diferentes alternativas de remediación de suelos.

En muchos casos (derrames pequeños, accidentes de transporte) será posible remover el producto y los suelos directamente afectados. Tratándose de volúmenes de menos de 1.000 m³, generalmente suele ser más económico disponerlos en un lugar autorizado.

La decisión sobre el lugar de tratamiento y la técnica utilizada requiere de un estudio de viabilidad (ver punto 2).

2 CONTENIDOS DE UN PROYECTO DE RESTAURACIÓN

Un proyecto de restauración suele realizarse en etapas, con diferentes niveles de detalle (según la complejidad del incidente):

- En algunos casos, luego de la remoción de suelos contaminados y limpieza no habría ninguna necesidad de medidas de restauración (=Cierre del Caso);
- Los derrames de menor envergadura requieren solo de un estudio a nivel de perfil (con una propuesta de medidas de restauración);

La restauración de un sitio contaminado sólo se justifica si la presencia de los contaminantes representa un peligro para la salud de la población o el medio ambiente.

Antes de proceder a la planificación de las medidas de restauración se tiene que efectuar una evaluación detallada de los riesgos.

Cuando haya riesgos significativos, el SAG puede solicitar al responsable de la emergencia un proyecto de restauración con un mayor nivel de detalle.

2.1 Estudio a Nivel de Perfil (Ingeniería Conceptual)

El trabajo de terreno y análisis preliminar (descrito en los Capítulos II a V) permite una caracterización de la sustancia contaminante, de la fuente de peligro y del escenario de exposición. Aún cuando sea cualitativo, este nivel de análisis es suficiente en muchos casos: derrames menores, cuando no hay componentes vulnerables afectadas o cuando el material contaminante ya fue removido (como parte de las medidas de contingencia).

El estudio a nivel de perfil incluye los siguientes antecedentes:

- Una estimación preliminar de la complejidad del proyecto
- Descripción del modelo conceptual del sitio, considerando: las fuentes de contaminación, las vías de propagación y los receptores potenciales;
- Una Descripción de las alternativas más viables, y justificación de la selección;
- Una descripción de las medidas propuestas, incluyendo una justificación de la selección;

El estudio de perfil puede ser elaborado por el SAG o ser encargado a un tercero (con costos cargados al responsable de la emergencia).

2.2 Evaluación Detallada de los Riesgos

En el caso de emergencias mayores (o catástrofes como el colapso de un tranque de relaves) se requiere una evaluación de riesgos más detallada. Basándose en el

monitoreo de todas las variables relevantes, el responsable de una emergencia debe cuantificar y pronosticar los eventuales impactos, por ejemplo a través de:

- Ensayos y pronóstico de la lixiviación de ciertos contaminantes;
- Estudios hidrogeológicos de detalle;
- Modelos del flujo de aguas subterráneas y transporte de contaminantes;
- Cálculos de dosis/respuesta, basado en antecedentes toxicológicos de la sustancia contaminante;

Basado en ello, será posible definir una meta de saneamiento (un nivel aceptable del contaminante, que asegure que se cumplan los requisitos de concentraciones máximas en las componentes ambientales).

En general, la evaluación detallada de riesgos será efectuada por un tercero (con costos cargados al responsable de la emergencia).

2.3 Estudio de Viabilidad (Ingeniería Básica)

El estudio de viabilidad tiene por objetivo una evaluación de las alternativas de restauración. Incluye los siguientes contenidos:

2.3.1 Objetivos de protección

En primer lugar, se deben señalar los objetivos de protección, esto es:

- Los contaminantes críticos;
- Los medios de interés en el sitio;
- Las vías de propagación; y
- Metas preliminares de restauración.

2.3.2 Definición de las metas de restauración

En la definición de las metas de restauración se deben considerar los siguientes aspectos:

- Niveles basales de parámetros contaminantes;
- Límites máximos establecidos en los diferentes medios: aire, agua de riego, agua potable, etc.;
- Estándares de referencia de otros países (por ejemplo en el caso de suelos);
- Niveles de riesgo y límites residuales aceptables desde el punto de vista de la protección de la salud pública y del medio ambiente.

2.3.3 Aspectos Legales

Los estándares que se deben cumplir están establecidas en la legislación ambiental:

- Calidad de aire;
- Calidad de agua para diferente usos (riego, agua potable o recreación);
- Calidad de Suelos (no hay);
- Otros.

En el caso de la calidad de suelos, se pueden usar estándares de referencia de otros países. Aparte de los estándares de calidad se debe considerar: protección de la flora y fauna, normas para la protección laboral, permisos para el tratamiento de suelos o residuos, etc.

2.3.4 Desarrollo, Evaluación y Selección de Alternativas

Una vez que se hayan establecido los objetivos y la meta de restauración, se procede a efectuar una pre-selección de las alternativas. Para tal efecto, se identifican aquellas tecnologías que sean más efectivas para tratar los contaminantes y medios de interés en el sitio¹.

Luego, se realiza un análisis detallado de las alternativas más prometedoras, de sus ventajas y desventajas.

2.3.5 Descripción de la Solución Propuesta

Como mínimo, debe considerar los siguientes aspectos:

- Plano de ubicación (con distancias a potenciales receptores);
- Descripción general del sistema propuesto;
- Tratamiento de las Emisiones;
- Medidas de Protección Laboral;
- Planos; y
- Especificaciones.

El proponente debe justificar la selección de la alternativa de restauración propuesta desde el punto técnico-económico y, en particular, en cuanto a la viabilidad de cumplir con la meta de restauración².

¹ En la página web de USEPA (<http://www.clu-in.org/>) se entregan matrices para la preselección de tecnologías de remediación.

² Cabe destacar que muchas tecnologías de remediación de suelos o aguas subterráneas pueden ser inviables desde el punto de vista de los costos, bajo la realidad del país.

2.3.6 Anexos

- Investigación para la restauración (eventuales monitoreos adicionales realizados)
- Cálculo de metas de restauración (basado en datos toxicológicos de la sustancia)

3 EVALUACIÓN FINAL Y CIERRE

En la etapa de evaluación final, el funcionario del SAG deberá realizar una inspección y, eventualmente, la toma de muestras en terreno para evaluar el cumplimiento de la meta de saneamiento. Los procedimientos de muestreo y análisis se describen en el Capítulo V. En esta etapa del proyecto, los aspectos más importantes son los siguientes:

3.1 Observaciones en Terreno

- Verificar la ubicación de las prospecciones que se efectuaron (que coincidan con los informes entregados por el responsable de la emergencia);
- Descripción de los suelos (color, textura, existencia de manchas); y
- Grado de recuperación de la vegetación (toma de fotos).

3.2 Monitoreo

- Verificar la remoción de los suelos contaminados (toma de muestras puntuales);
- Monitoreo de las componentes ambientales afectadas: suelo, agua superficial y subterránea.

Lo ideal sería mantener los pozos de monitoreo intactos, para poder efectuar un seguimiento (si fuese necesario).

3.3 Evaluación

Dependiendo de los resultados de la remediación, puede ser necesario modificar el proyecto de restauración:

- **Modificación de la meta de saneamiento:** Es posible que se cumpla con los objetivos de la remediación, aún cuando no se hayan logrado todas las metas de saneamiento propuestas originalmente (sólo cuando haya nuevos antecedentes que permitan descartar que haya riesgo para el medio ambiente);
- **Medidas de restauración:** Es necesario evaluar, si se tiene que modificar el proyecto de restauración para cumplir con las metas de saneamiento.

Si no es posible lograr el cumplimiento de la meta (con otra tecnología o prolongando el proceso de remediación), se tiene que considerar alguna técnica de confinamiento para evitar riesgos mayores (ver punto 1). En estos casos, siempre se va a necesitar un seguimiento y no se podrá efectuar un cierre definitivo (ver punto siguiente).

3.4 Cierre o Seguimiento

En caso que la fuente de contaminación haya sido removida, se haya cumplido con las metas de restauración y se pueda excluir la eventualidad de una propagación hacia otros medios, se puede declarar el cierre de la emergencia.

Por otra parte, cuando se trata de un derrame mayor y se sospecha de la existencia de efectos muy lentos de transporte (como el avance de un frente de contaminación en las aguas subterráneas), se debe pedir un seguimiento periódico.