

## CAPÍTULO IV ANÁLISIS PRELIMINAR DE RIESGOS AMBIENTALES

### INDICE

	Pág.
<b>1 IDENTIFICACIÓN DE LA FUENTE DE PELIGRO .....</b>	<b>2</b>
1.1 CARACTERIZACIÓN DE LA SUSTANCIA QUÍMICA .....	2
1.1.1 <i>Tipo de Sustancia Química</i> .....	2
1.1.2 <i>Estado Físico del Producto Contaminante</i> .....	3
1.1.3 <i>Características Químicas y Físicas de los Contaminantes</i> .....	5
1.1.4 <i>Toxicidad</i> .....	5
1.2 DESCRIPCIÓN DEL INCIDENTE .....	6
1.2.1 <i>Tipo de Incidente</i> .....	6
1.2.2 <i>Ubicación del Derrame</i> .....	6
1.2.3 <i>Duración</i> .....	6
1.2.4 <i>Volumen del Derrame</i> .....	7
1.2.5 <i>Medidas de Contingencia</i> .....	7
1.3 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE IMPACTO DIRECTO .....	8
1.3.1 <i>Volumen del Área Impactada</i> .....	8
1.3.2 <i>Concentración</i> .....	9
1.3.3 <i>Otros</i> .....	10
1.4 CLASIFICACIÓN DE LA MAGNITUD DE LA FUENTE .....	10
<b>2 ANÁLISIS ESQUEMÁTICO DE LAS VIAS DE PROPAGACIÓN .....</b>	<b>12</b>
2.1 CONTACTO DIRECTO .....	12
2.2 ARRASTRE CON EL AIRE .....	13
2.3 ESCURRIMIENTO CON AGUAS LLUVIA .....	13
2.4 INFILTRACIÓN AL SUBSUELO .....	14
<b>3 IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES AMBIENTALES SUSCEPTIBLES .....</b>	<b>16</b>
3.1 SUELO /USO DE SUELO .....	16
3.2 AGUA SUPERFICIAL .....	17
3.3 AGUA SUBTERRÁNEA .....	17
3.4 FLORA Y FAUNA .....	18
3.5 CULTIVOS AGRÍCOLAS .....	19
<b>4 PRIORIZACIÓN DE LOS RIESGOS AMBIENTALES .....</b>	<b>21</b>
<b>5 APLICACIÓN DEL MÉTODO DE PRE-EVALUACION DE IMPACTO .....</b>	<b>23</b>

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS PRELIMINAR DE RIESGOS AMBIENTALES

El presente Capítulo tiene por objetivo orientar al Usuario del Manual sobre el Análisis Preliminar de los Riesgos, el cual sustenta la elaboración de los Planes de Contingencia y Monitoreo.

El riesgo se define como la probabilidad que una sustancia o situación produzca un efecto adverso para algún elemento sensible, a lo humano o ambiental, bajo determinadas condiciones de contacto. La metodología general de evaluación de riesgo ambiental tiene cuatro elementos principales:

- **Identificación de la fuente del peligro:** determina el potencial que tiene un agente causal con capacidad de generar efectos sobre un blanco expuesto (la salud humana o el medio ambiente);
- **Evaluación de la exposición:** estima la amplitud del contacto entre la fuente de riesgo y el blanco, calculando un valor de dosis.
- **Evaluación dosis-respuesta:** estudia la relación entre el grado de exposición y la magnitud del efecto a la salud en el blanco expuesto.
- **Caracterización del riesgo:** describe la naturaleza y la magnitud del riesgo, actividad surgida de la información que proveen los puntos anteriores.

Estos pasos establecen los elementos contextuales que permiten tomar una decisión durante la gestión de la emergencia por parte de los funcionarios del SAG, considerando en cada etapa los escenarios de “peor caso” (sobre todo en las etapas preliminares del análisis, cuando aún falta gran parte de la información cuantitativa).

En la medida que sea posible se descartan los escenarios improbables; así el análisis de los riesgos se desarrolla en etapas de complejidad creciente, enfocándose en los riesgos más significativos y con un nivel de información cada vez más detallado.

Dado que el presente Manual tiene por objetivo orientar al funcionario en la evaluación preliminar de la emergencia (decisiones en terreno, toma de evidencias y definición de los estudios de detalle), se propone un análisis de riesgo simplificado:

- Identificación de la Fuente de Peligro;
- Evaluación Esquemática de las Vías de Exposición;
- Identificación de los Componentes Ambientales susceptibles; y
- Priorización de los riesgos.

En la Figura IV-1 se presenta un esquema de un análisis de riesgos de una emergencia ambiental. No se contempla una evaluación cuantitativa, de la exposición o dosis-respuesta, ya que en esta etapa de la investigación aún faltan análisis de aguas, suelos, o estudios de geología, hidrogeología más acabados. En el Anexo F se presentan antecedentes complementarios sobre el transporte de contaminantes en aguas subterráneas y la vulnerabilidad de los acuíferos.

## 1 IDENTIFICACIÓN DE LA FUENTE DE PELIGRO

La identificación de las fuentes de peligro comprende los siguientes aspectos:

- La sustancia o las sustancias químicas liberadas;
- Las características del incidente; y
- El área directamente impactada.

En la etapa de identificación de las fuentes de peligro, se consideran antecedentes disponibles, aquellos datos entregados por el responsable del accidente y en particular, las observaciones de terreno, todas las cuales serán anotadas en una **Ficha de Evaluación Rápida de emergencias ambientales (ver Tabla II-1, Capítulo II)**.

### 1.1 Caracterización de la Sustancia Química

Como primer paso, el evaluador debe identificar la sustancia química o las sustancias, involucradas en el incidente:

- El tipo de sustancia o sustancias físicas;
- El estado físico; y
- Sus características físicas y químicas.

Este punto se refiere a las características del material previo a la emergencia, no al estado de transformación, dilución o mezcla que ocurre en el momento de la emergencia (sus derivados o subproductos).

Por otra parte, se tiene que tener presente que el material involucrado puede ser un producto químico puro (= contaminante), una solución, mezcla o un residuo con varios compuestos contaminantes. Las bases de datos de sustancias químicas son referenciales y para monoproductos. Según sea el caso, se tiene que evaluar el contaminante principal, secundarios y/o impurezas asociadas.

#### 1.1.1 Tipo de Sustancia Química

De acuerdo a la clasificación de sustancias químicas involucradas en las emergencias ambientales, se distinguen los siguientes materiales:

- Combustibles e hidrocarburos;
- Corrosivos: ácidos y básicos;
- Pesticidas;
- Relaves;
- Concentrados de mineral;
- Gases o humos tóxicos (producto de algún incendio); y
- Otros.

La información sobre el tipo de sustancias químicas se obtiene a través de entrevistas con el personal/encargado de seguridad, la hoja de seguridad u otros documentos que acompañan al material derramado (en el caso del transporte de productos químicos).

En algunos casos los contaminantes se identifican fácilmente, por el contexto del incidente o a través del análisis del proceso productivo, por ejemplo:

- Aguas sentinas: Hidrocarburos;
- Lixiviados de vertederos domiciliarios: DBO<sub>5</sub>, DQO, amonía, metales pesados, coliformes fecales;
- Incendios: dioxinas y furanos (sobre todo en la presencia de compuestos clorados);
- Relaves de cobre: Cobre, cobalto, níquel, molibdeno, oro y plata.

En otros casos, los contaminantes son más complejos y variados (pesticidas, derivados de compuestos orgánicos); éstos solo pueden ser identificados a través de una analítica más compleja, como por ejemplo: análisis cromatográfico, determinación de especies de metales pesados, etc. En la Tabla IV-1 se presenta un resumen de los principales contaminantes, para diferentes emergencias ambientales y productos químicos.

El funcionario encargado de la evaluación solicitará las hojas de seguridad al responsable del incidente, al proveedor del producto químico o en oficinas del SAG. Por otra parte, debería contar con las hojas de seguridad de los productos más comunes (ver Capítulo III, Anexos D y E).

### **1.1.2 Estado Físico del Producto Contaminante**

Es importante establecer el estado físico de los contaminantes presentes en el material liberado, si se trata de una sustancia pura, mezclado con agua u otros productos. Se distinguen los siguientes casos:

- Sólidos: secos, húmedos y pastosos (dependiendo del grado de humedad);
- Líquidos: productos puros (100%) o soluciones acuosas;
- Mezcla de productos (no disueltos): Líquido-Líquido, sólido-sólido, sólido-líquido; y
- Gaseosos.

Según sea el caso, el funcionario encargado de la evaluación determinará la concentración del producto químico, su contenido de humedad y eventuales contaminantes secundarios/ impurezas (en su estado original, previo al derrame). La información sobre el producto químico se obtiene de la hoja de seguridad u otros documentos que acompañan al material derramado (ver Capítulo III).

**Tabla IV-1**

### **1.1.3 Características Químicas y Físicas de los Contaminantes**

Las características físicas y químicas del contaminante son relevantes para la evaluación de la exposición (análisis esquemático de las vías de propagación). Los datos más relevantes son:

- Densidad;
- Volatilidad (Punto de Ebullición);
- Solubilidad al agua;
- Coeficiente de partición agua octanol;
- Coeficiente de partición en suelo.

En la Tabla IV-1 se presentan los datos característicos de las sustancias químicas más relevantes. La información puede ser extraída de la hoja de seguridad del producto químico (ver Capítulo II y Anexo E).

El funcionario encargado de la evaluación calificará a los compuestos según sus características físicas y químicas (A=Alto, M= Mediano y B= Bajo).

### **1.1.4 Toxicidad**

Para evaluar la dosis-respuesta de un blanco expuesto se requiere la información de toxicidad de la sustancia.

- Toxicidad para humanos
  - Toxicidad aguda (en el caso de una exposición corta, < 1 día)
  - Toxicidad subaguda (en el caso de una exposición de varios meses)
  - Toxicidad crónica (en el caso de una exposición de varios años)
- Fito-toxicidad,
- Toxicidad para animales, y
- Bioacumulación.

En el caso que la situación merezca una evaluación detallada de los riesgos ambientales, sería necesario establecer no solamente la dosis, sino también el tiempo de exposición bajo un escenario de “peor caso” (por ejemplo, si se trata de una zona residencial la ingestión de suelos por niños).

También puede ser necesario determinar ciertas especies de contaminantes: por ejemplo la toxicidad de trióxido de arsénico (As-III) es mucho mayor a la de As-V.

El análisis preliminar de riesgos es simplificado: Considerando los tipos de emergencias más recurrentes, la mayoría de las sustancias químicas involucradas pueden considerarse tóxicas o nocivas en algún grado.

## 1.2 Descripción del Incidente

Describir el tipo y la envergadura del incidente que causó la emergencia ambiental, de manera de poder estimar la cantidad total de contaminante liberado al medio ambiente. Ante la falta de datos más detallados, se tiene que asumir un escenario conservador (el “peor caso”).

### 1.2.1 Tipo de Incidente

Caracterizar el tipo de incidente que provocó la emergencia ambiental:

- Accidente de transporte;
- Rebalse de una laguna, piscina u otro;
- Rotura de un ducto;
- Error de aplicación de un producto químico;
- Incendio;
- Explosión;
- Riesgos naturales (crecida de agua, deslizamiento de masas); y
- Otro (filtración de un estanque, falla de una bomba o similar).

La naturaleza y las condiciones bajo las cuales se produjo una emergencia son relevantes para definir la matriz de interacción: entre incidente, sustancia química y componente ambiental. **Además, permite establecer la zona directamente impactada (dentro de la Zona Caliente, ver punto 1.3).**

### 1.2.2 Ubicación del Derrame

Elaborar un **croquis del derrame**, indicando su localización, extensión y distancia con respecto a los posibles puntos de referencia, vías de propagación y bienes afectados.

Se recomienda tomar coordenadas con GPS, tanto de los vértices del derrame, como también de por lo menos dos puntos de referencia: puentes, calzada de la calle, vértices de edificios, postes de luz u otro.

En la Figura IV-2 se presenta un croquis de ubicación para un derrame de gasolina en un servicentro (como ejemplo).

### 1.2.3 Duración

Establecer el momento (día, hora), la duración y el tiempo transcurrido desde el incidente.

En cuanto a la duración del incidente, éste puede ser: Instantánea, haber durado varios minutos u horas.

Lo anterior da algunos indicios sobre la intensidad inicial del impacto y cual sería su radio de influencia (por ejemplo en un cuerpo de agua fluvial).

Por otra parte, el tiempo transcurrido desde la ocurrencia del incidente permite estimar, hasta que nivel la situación original pudo haber sido alterada: la extensión y el grosor del derrame, la pureza del producto químico, su disolución y eventual transporte con el agua, etc. (¿Hubo tiempo para el arrastre, la dispersión de la contaminación o disolución de los contaminantes?)

#### **1.2.4 Volumen del Derrame**

Tratándose de un derrame, es necesario establecer el volumen del producto químico que se derramó. Para tal efecto, se deben considerar los siguientes aspectos:

- Capacidad del contenedor de transporte o estanque;
- Capacidad de bombeo o flujo (en caso de una cañería), y duración del incidente;
- Extensión visible del derrame y profundidad; y
- Volumen del producto recuperado.

En lo posible, se debería establecer el volumen o % del material derramado (a través de un balance de masa):

- Cota máxima v/s la cota actual (en el caso de una laguna o estanque);
- Volumen total del producto – volumen recuperado; y
- Caudal de bombeo x duración del derrame.

En la Figura IV-3 se presentan varios ejemplos de cubicación de derrames.

En el caso del Ejemplo de Derrame de Gasolina fue posible estimar un volumen relativamente exacto de derrame de 300 litros (ya que se trató de un cliente que equivocadamente cargó esta cantidad de combustible a su vehículo y luego lo desecho).

Por otra parte, cuando no es posible determinar un volumen de producto derramado, se debe considerar el volumen máximo: el volumen total del producto, la capacidad total del vehículo de transporte, estanque o contenedor (**Escenario de “Peor Caso”**).

#### **1.2.5 Medidas de Contingencia**

Determinar si se tomó alguna medida de contingencia y en qué momento (¿de parte de la empresa responsable, de ONEMI, bomberos u otros)

Establecer que medidas se tomaron o no se tomaron en el momento de la emergencia:



- Reparación de las unidades dañadas;
- Agua contra incendio;
- Aplicación de químicos contra incendio; y
- Medidas de contención (medios absorbentes).

En lo posible se debe estimar la eficacia de las medidas de contención: ¿qué porcentaje del producto químico pudo ser removido o contenido?

En el Ejemplo del Derrame de Gasolina se removieron 50 m<sup>3</sup> de suelo desde la zanja de aguas lluvia (para evitar que el derrame contamine el canal de regadío, (ver Figura IV-2). Según los análisis de laboratorio estos suelos tuvieron niveles del orden de 1.000 mg/kg de hidrocarburos, es decir, se recuperaron 50 litros de un total de 100 litros derramados.

Por otra parte, las medidas de contingencia pueden haber causado efectos secundarios: el agua contra incendio pudo haber contaminado cuerpos de agua superficial o terrenos adyacentes.

### 1.3 Descripción de la Zona de Impacto Directo

Cuando se produce un derrame de productos químicos, incendio u otra emergencia, suele existir una zona directamente afectada (dentro de la Zona Caliente), con niveles muy elevados de contaminantes. Muchas veces hay presencia de producto libre, es decir se trata de una mezcla de suelos o aguas con productos químicos.

En estos casos no es necesario “evaluar el impacto ambiental”, sino que es primordial evitar la propagación de la contaminación hacia otros componentes ambientales; estos suelos o aguas deben ser removidos y dispuestos como un residuo peligroso en una instalación autorizada.

Para poder caracterizar la fuente es necesario cuantificar el volumen del área directamente impactada, así como también los factores que favorecen o inhiben la propagación de la contaminación.

#### 1.3.1 Volumen del Área Impactada

Establecer el volumen de suelo o aguas directamente afectados, en términos de superficie y profundidad.

Para tal efecto, se consideran los siguientes antecedentes:

- **Medición en Terreno:** pH, conductividad o sólidos disueltos
- **Visual:** existencia de manchas, espumas o decoloración del suelo

- **Olfato:** sólo en caso de compuestos no tóxicos y con las debidas medidas de precaución (por ej. fuel oil u otros hidrocarburos pesados)

Tratándose de volúmenes importantes de derrames (o cuando haya transcurrido mucho tiempo desde el incidente), la red de drenaje también permite una estimación de la extensión del área afectada.

Para observar la profundidad del producto es útil efectuar calicatas de baja profundidad (< 1 m). Las observaciones de extensión y profundidad se registran en el croquis.

En el Ejemplo del Derrame de Gasolina en un Servicentro, los suelos directamente impactados ya habían sido removidos en el momento de la primera visita a terreno. Aún así una parte del colector de aguas lluvia quedó visiblemente contaminado y con olor a gasolina (ver Figura IV-2):

- Largo: 25 m
- Ancho: <2 m
- Profundidad: < 0,3 m

El volumen de suelos contaminados restantes fue estimado en menos de 15 m<sup>3</sup>. (En el caso de un derrame de mayor volumen, hubiera sido necesario efectuar calicatas, muestreos y análisis de suelos, ver Capítulo V Informe Final).

### 1.3.2 Concentración

Estimar la concentración de contaminantes en los suelos o aguas directamente impactados. Se considerarán los resultados de análisis con equipos de terreno o muestras puntuales (ver Capítulo II):

A falta de análisis químicos, se pueden considerar los siguientes indicios:

- La solubilidad de un compuesto químico conocido (a una determinada temperatura);
- El contenido de sólidos sedimentables o aceites flotantes puede ser medido en un cilindro de decantación;
- La composición de los relaves suele ser conocida (además, los relaves pueden ser separados mecánicamente con la malla correspondiente).

Un medio que está sobresaturado de un producto líquido – por ejemplo un hidrocarburo, puede tener niveles de contaminantes de sobre un 30% (es decir 300.000 mg/kg).

Por otra parte, un suelo con un olor leve a hidrocarburos, puede tener concentraciones menores a 1.000 mg/kg (es decir un 0,1 %). **(Estos ejemplos sólo sirven de orientación, evite el contacto con sustancias desconocidas!).**

También es relevante, si se trata de una sustancia pura, de una mezcla con otros productos (ver punto 1.2).

### **1.3.3 Otros**

Establecer e indicar en el croquis los siguientes factores:

- Pendientes;
- Colectores o zanjas de agua lluvia;
- Pavimentos;
- Edificación;
- Barreras de contención;
- Barreras de viento;
- Obras de conducción de aguas lluvia; y
- Flora y fauna existente.

Entre otros, se debería indicar la dirección de la red de drenaje de aguas lluvia con flechas y el tipo de estratigrafía de suelos.

La Figura IV-4 demuestra un croquis de un aserradero, en el cual ocurrió un incendio y una serie de derrames de productos químicos (fuel oil y resinas). Gracias a la existencia de una capa superficial de suelos limo-arcillosos (Estratigrafía I o II) y viscosidad del producto, no hubo mayor infiltración hacia el subsuelo.

Por otra parte, sí hubo que analizar en detalle el destino de las agua de incendio, que escurrieron por los canales de evacuación de aguas lluvia.

## **1.4 Clasificación de la Magnitud de la Fuente**

La magnitud de la fuente, permite valorizar el tipo de sustancia implicada en el incidente en el contexto de la pre-evaluación. Sin embargo, no se debe confundir la magnitud de la fuente con la magnitud del incidente sobre el receptor.

Para valorizar la magnitud de la fuente, se propone considerar los valores indicados en el siguiente cuadro.

		MAGNITUD DE LA FUENTE DE PELIGRO		
	TIPO DE EMERGENCIA	ALTA	MEDIA	BAJA
1.	Derrame de Hidrocarburos y Derivados de Petróleo	$> 20 \text{ m}^3$	$2,0 - 20 \text{ m}^3$	$< 2,0 \text{ m}^3$
2.	Derrames de Ácidos y Básicos Corrosivos	$> 2,0 \text{ m}^3$	$0,2 - 2,0 \text{ m}^3$	$< 0,20 \text{ m}^3$
3.	Plaguicidas y Pesticidas	$> 200 \text{ litros}$	$20 - 200 \text{ litros}$	$< 20 \text{ litros}$
4.	Derrame de Relaves	$> 200 \text{ m}^3$	$20 - 200 \text{ m}^3$	$< 20 \text{ m}^3$
5.	Derrame de Concentrados de Mineral	$> 250 \text{ m}^3$	$50 - 250 \text{ m}^3$	$< 25 \text{ m}^3$
6.	Derrame de Otros Productos Químicos	$> 2,0 \text{ m}^3$	$0,2 - 2,0 \text{ m}^3$	$< 0,20 \text{ m}^3$
7.	Incendio de Bodegas de Productos Químicos	$> 1.000 \text{ m}^2$	$50 - 1.000 \text{ m}^2$	$< 50 \text{ m}^2$
8.	Incendio de Vertederos Clandestinos (con Residuos Peligrosos)	$> 10.000 \text{ m}^2$	$500 - 10.000 \text{ m}^2$	$< 500 \text{ m}^2$
9.	Derrame de Lixiviados en Rellenos Sanitarios	$> 250 \text{ m}^3$	$25 - 250 \text{ m}^3$	$< 25 \text{ m}^3$
Puntaje		100	50	10

Fuente : Elaboración propia.

## 2 ANÁLISIS ESQUEMÁTICO DE LAS VIAS DE PROPAGACIÓN

El análisis de las vías de propagación parte de la consideración que un contaminante representa un peligro no sólo por su presencia en un lugar determinado sino que también, y fundamentalmente en este caso, por la eventualidad de que sea transportado a zonas en donde su acción sea perjudicial para el medio natural (incluido el medio humano).

Para efectos del análisis se consideran las siguientes vías de exposición:

- Contacto directo, inhalación o ingestión;
- Arrastre con el aire (como polvo o aerosol);
- Arrastre con escurrimientos superficiales; e
- Infiltración al subsuelo y transporte con aguas subterráneas.

El descarte de una vía de exposición se produce por dos razones: debido a la ausencia de un medio de transporte o de un receptor (dentro de lo que establece como radio de movilidad que tiene el contaminante). Por esta razón es necesario identificar los componentes afectados para cada vía de transporte (ver también punto 3).

### 2.1 Contacto Directo

Dentro de las funciones del SAG, solo se evaluará la exposición de la flora y fauna terrestre (aún cuando sea común usar el mismo método para evaluar la salud humana).

Se determinarán las posibles vías de exposición a través de un contacto directo:

- Ingestión;
- A través de la piel;
- Inhalación.

En la Figura IV-5 se presentan varios ejemplos de exposición directa.

Cuando se contamina en forma directa al medio de una especie (suelo, agua) o a su fuente de alimentación, el contacto directo es cierto (100 puntos).

Por otra parte, cuando el impacto es indirecto (por ej. acumulación de metales pesados a través de la cadena trófica), se debiera considerar una probabilidad mediana (50) o baja (10). Esta depende principalmente de las características de la sustancia, de su persistencia en el medio ambiente y concentración inicial.

En caso de descartar la exposición directa de algún blanco (fauna terrestre), a la contaminación se califica como ninguna (0).

## 2.2 Arrastre con el Aire

El transporte con el aire puede ocurrir de la siguiente forma:

- Volatilización de productos químicos;
- Arrastre de polvo fino;
- Arrastre de suelos contaminados;
- Vapores de agua.

La probabilidad del transporte de una sustancia mediante vía aérea es alta, en el caso de compuestos volátiles y/o sólidos muy finos (con una granulometría de menos de 0,1 mm). Por otra parte, el evaluador debería tomar en cuenta la topografía del entorno y la dirección y velocidad del viento.

En esta etapa es suficiente identificar la dirección de los vientos dominantes, por ejemplo:

- Movimientos de aire en la cercanía de grandes cuerpos de agua o del mar (ver Figura IV-6); y
- Vientos longitudinales y laterales de los valles (ver Figura IV-7).

Un análisis detallado requiere de una modelación de la dispersión (por ejemplo modelos SCREEN3 o ISCT3).

A menos que la dirección del viento o distancia a los receptores permita descartar un riesgo mayor, se debería suponer un riesgo alto de propagación por el aire (ver Figura IV-8). En la ficha de terreno el evaluador anotará, si la probabilidad de un arrastre de la contaminación con el viento es alta (100 puntos), mediana (50) o baja (10).

## 2.3 Escurrimiento con Aguas Lluvia

El transporte con aguas lluvia ocurre en las siguientes situaciones:

- Derrames a cuerpos de agua (en forma directa);
- Quebradas intermitentes;
- Terrenos con pendientes y hoya aportante.

El transporte de un contaminante puede ocurrir en la fase disuelta o como un sólido suspendido.

La probabilidad de ocurrencia es muy alta, en el caso de un contacto con escurrimientos de agua permanentes (ríos, esteros, lagos) y mediana, en el caso de una quebrada intermitente. En general, cuando un terreno evidencia problemas de

erosión existe la posibilidad de un transporte con escurrimientos superficiales. En la Figura IV-9 se presentan diferentes situaciones de drenaje y riesgo de propagación.

En la ficha de terreno el evaluador anotará, si la probabilidad de un arrastre de la contaminación con aguas superficiales es alta (100 puntos), mediana (50) o baja (10).

En terrenos planos, zonas desérticas, techadas se puede descartar la eventualidad de un arrastre con escurrimientos de agua lluvia (0 puntos). Asimismo, es posible evitar el riesgo de una propagación por aguas superficiales a través de medidas de contención (materiales absorbentes, diques, pretilos de contención, ver punto 1.1).

## **2.4 Infiltración al Subsuelo**

Generalmente, la infiltración de los derrames o aguas contaminadas hacia la napa subterránea ocurre a través de la zona no saturada del suelo. En cuanto a la permeabilidad se distinguen:

- Gravas;
- Arenas;
- Suelo limo-arcillosos; y
- Suelos arcillosos.

Por una parte, influyen las características del contaminante (su viscosidad, solubilidad), sea producto libre o disuelto. Es poco probable que un fuel oil infiltre, incluso si se trata de un suelo de alta permeabilidad.

Tratándose de una solución acuosa, se pueden considerar las características hidráulicas del subsuelo y la profundidad de la napa subterránea.

En la Figura IV-10 se presenta un esquema de diferentes tipos de subsuelo y acuíferos (acuífero libre o confinado). En la medida que haya una barrera de suelos de baja permeabilidad y una profundidad suficiente de la napa subterránea, es cada vez menos probable un impacto a la calidad del agua subterránea.

Por otra parte, son muy vulnerables los acuíferos libres de baja profundidad, en suelos muy permeables (o cuando la barrera de protección haya sido removida, como es el caso de los pozos de áridos).

En la Tabla IV-2 se presenta la permeabilidad hidráulica y velocidad de avance de diferentes materiales.

**TABLA IV-2**  
**PERMEABILIDAD HIDRÁULICA Y VELOCIDAD DE AVANCE (EN SUELOS SATURADOS)**

TIPO DE SUELO	PERMEABILIDAD HIDRÁULICA $K_f$ (m/s) <sup>1</sup>	VELOCIDAD DE AVANCE (m/día) <sup>2</sup>
Arcilla	$10^{-8} - 10^{-10}$	$10^{-8} - 10^{-2}$
Suelo limo-arcilloso	$10^{-6} - 10^{-8}$	0,01 – 0,2
Arena fina, o con finos	$10^{-5} - 10^{-6}$	1 – 5
Arena mediana	$10^{-4} - 10^{-5}$	5 – 20
Arena gruesa, gravilla	$10^{-3} - 10^{-4}$	5 – 100
Grava	$10^{-1} - 10^{-3}$	100 – 1.000
Roca (no fracturada)	S/i	$10^{-5}$
Roca fracturada	S/i	0,001 – 10

Fuente: Elaborado en base a fuentes citadas en cada columna.

La velocidad de avance de un derrame se puede estimar de la siguiente forma:

$$V_f = k_f \times \text{grad } H$$

Donde:

$v_f$  = velocidad de infiltración

$K_f$  = permeabilidad hidráulica (m/s)

$\text{grad } H$  = gradiente hidráulico

La velocidad de infiltración a través de grietas puede ser significativamente mayor; asimismo si los suelos se encuentran saturados en poca profundidad o si la napa fluctúa significativamente (ya que se dispersa la contaminación).

En la Figura IV-11 se presenta una curva de permeabilidad para distintos materiales. En la zona no saturada, esta permeabilidad es menor. Los contaminantes móviles tienen alta solubilidad, baja viscosidad y bajo coeficiente de partición carbono orgánico  $K_{oc}$  (ver Capítulo III).

En la ficha de terreno el evaluador anotará, si la probabilidad de una infiltración al subsuelo es alta (100 puntos), mediana (50) o baja (10). Cuando el sector contaminado cuenta con una pavimentación, se puede descartar (0 puntos).

<sup>1</sup> Leo, R. Y Lilie, R. "Ölwehr Handbuch", Hamburg, 1992.

<sup>2</sup> Bouwer, H. Groundwater Hydrology, 1978 (En: Canter L.W. et al., Ground Water Quality Protection, 1990)



### 3 IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES AMBIENTALES SUSCEPTIBLES

Identificar los componentes ambientales susceptibles a un impacto ambiental:

- Suelos /Uso del suelo;
- Aguas Superficiales;
- Aguas Subterráneas;
- Flora y Fauna;
- Cultivos Agrícolas.

En la etapa de identificación de los potenciales impactos, es suficiente caracterizar a cada uno de los componentes ambientales (a nivel de perfil, sin mediciones en terreno). Los datos obtenidos se anotan en una ficha de terreno (ver Capítulo II).

#### 3.1 Suelo /Uso de Suelo

Establecer los usos de suelo que pudiesen ser afectados en forma directa o indirecta, en particular su sensibilidad. Se distinguen los siguientes usos:

- Habitacional;
- Agrícola (consumo humano);
- Agrícola (otros);
- Forestal;
- Vial (pavimentado);
- Industrial;
- Minero;
- Suelos degradados (sin aptitud agrícola).

Aparte de los suelos directamente impactados, se debe considerar aquellos indirectamente afectados: a través del transporte por el aire, el arrastre con aguas lluvia o la infiltración.

En forma preliminar, se consideran las siguientes categorías:

CLASIFICACIÓN	VULNERABILIDAD		
	Alta	Media	Baja
Descripción	Habitacional Agrícola (para uso humano)	Forestal Industrial Vial	Minero Suelos degradados (sin aptitud agrícola)
Puntaje	100	50	10

En caso de ausencia de una capa de suelos y/o cuando los niveles basales de contaminantes son muy elevados, se clasifica con un puntaje (0).

### 3.2 Agua Superficial

Establecer si existen cuerpos de agua superficial en la cercanía del derrame, aguas abajo:

- Ríos o esteros;
- Lagos;
- Humedales;
- Canales de agua para riego;
- Quebradas, que conducen hacia otros cuerpos de agua;

La vulnerabilidad de un cuerpo de agua depende de la distancia, de las pendientes, del volumen del derrame e importancia de los flujos de agua. En forma preliminar, se consideran las siguientes categorías:

CLASIFICACIÓN	VULNERABILIDAD (según la Distancia en m)		
	Alta	Media	Baja
Descripción	Cerca de la ribera o en una distancia de < 100 m	< 500 m	> 500 m
Puntaje	100	50	10

Cuando no haya posibilidad alguna de un impacto al componente ambiental Agua Superficial, tiene puntaje (0).

### 3.3 Agua Subterránea

Establecer si existen cuerpos de agua subterránea que podrían verse afectados por el derrame, es decir vulnerables a una contaminación:

- Escurrimientos subsuperficiales (dentro de la capa vegetal);
- Acuíferos libres; y
- Acuíferos confinados.

La vulnerabilidad de las aguas subterráneas depende de la profundidad del acuífero, de la permeabilidad del subsuelo y de la eventual existencia de barreras protectoras de la napa. En general, se requiere de un estudio hidrogeológico más acabado para establecer los riesgos y la vulnerabilidad del acuífero (ver Anexo F).

En forma preliminar, se consideran las siguientes categorías:

CLASIFICACIÓN	VULNERABILIDAD		
	Alta	Media	Baja
Descripción	Acuífero Libre Prof. = < 3 m Arena, grava permeable	Acuífero Libre Prof. > 3 m Suelos relativamente impermeables (limosos, arcillosos)	Acuífero confinado Prof. > 10 m Suelos muy impermeable (arcillas, limos)
Puntaje	100	50	10

Cuando no haya posibilidad alguna de un impacto al componente ambiental Agua Subterránea (por ejemplo ausencia de un acuífero), tiene puntaje 0.

### 3.4 Flora y Fauna

Establecer la zona afectada por el desastre desde la perspectiva de la flora y fauna presente o potencialmente existente en el sitio, describiendo las zonas homogéneas detectadas, estimando su superficie y la probabilidad ser impactadas.

Posteriormente, identificar la flora y fauna silvestre, susceptible de ser impactada (en forma directa o indirecta):

- Especies protegidas;
- Ecosistemas muy diversos o vulnerables (humedales, lugares de nidificación de aves, fauna); o
- Flora nativa.

Las observaciones serán dirigidas fundamentalmente a las zonas más sensibles, (áreas de flora o fauna vulnerable o protegida) en la dirección de avance de la contaminación, identificando especies herbáceas, arbustivas y arbóreas afectadas por el incidente, registrando los daños causados (clorosis, defoliación o quemaduras), búsqueda de especies animales afectadas por el siniestro, animales muertos, heridos o agónicos.

La vulnerabilidad de la Flora y Fauna silvestre depende de la escasez de las especies, la complejidad de los ecosistemas que podrían verse afectadas. Según sea el caso se requieren estudios específicos de los impactos sobre la flora y fauna silvestre.

En forma preliminar, se considera la siguiente clasificación de vulnerabilidad para el componente ambiental Flora:

	<b>VULNERABILIDAD DE LA FLORA</b>		
<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>Alta</b>	<b>Media</b>	<b>Baja</b>
Descripción	Especies protegidas Ecosistemas muy diversas (sin intervención humana)	Bosques, praderas (con intervención humana)	Zonas muy intervenidas (mineras)
Puntaje	100	50	10

Para el caso de la Fauna la determinación de la vulnerabilidad es compleja por la movilidad de las especies, no obstante se sugiere la siguiente clasificación:

	<b>VULNERABILIDAD DE LA FAUNA</b>		
<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>Alta</b>	<b>Media</b>	<b>Baja</b>
Descripción	Presencia real o potencial de Especies protegidas o en peligro o las listadas en el Art. 4 DS N°5/98 Especies de baja movilidad (reptiles y anfibios)	Fauna Silvestre no Protegida	Fauna Silvestre declarada Dañina o Perjudicial Art. 6 DS N°5/98 (Ratas, Ratones, Lagomorfos y otros)
Puntaje	100	50	10

La flora y fauna pueden ser impactados en forma directa o indirecta (a través del transporte de contaminantes por otro medio). En el caso de los impactos indirectos que se deben al transporte de contaminantes por vía de otro componente ambiental (agua, aire o suelo), se tiene que considerar como condición previa que haya un potencial de impacto a tal componente. **Si esto no ocurre, hay que calificar el componente con un 0.**

### 3.5 Cultivos Agrícolas

Determinar los sectores agrícolas y/o cultivos susceptibles a ser afectados por la emergencia ambiental, entre otros:

- Suelos agrícolas, directamente impactados;
- Cultivos, que están siendo regados con las aguas superficiales o subterráneas;
- Sectores, sujetos al escurrimiento de aguas superficiales, aguas lluvia o quebradas intermitentes; o
- Sectores sujetos a la depositación de polvos o cenizas (debido al arrastre de material particulado por el viento y/o por un incendio).

La susceptibilidad de los cultivos al impacto depende del tipo de cultivo, de la fitotoxicidad y persistencia de los contaminantes; entre otros. En forma preliminar, se considera la siguiente clasificación:

CLASIFICACIÓN	VULNERABILIDAD		
	Alta	Media	Baja
Descripción	Cultivos agrícolas (de consumo humano o animal)	Tierra en reposo	Tierras sin uso agrícola (pero aptitud agrícola)
Puntaje	100	50	10

En el caso de los impactos indirectos que se deben al transporte de contaminantes por vía de otro componente ambiental (agua, aire o suelo), se tiene que considerar como condición previa que haya un potencial de impacto a tal componente. **Si esto no ocurre, hay que calificar el componente con un 0.**

## 4 PRIORIZACIÓN DE LOS RIESGOS AMBIENTALES

La priorización de los riesgos ambientales se realiza basado en el conjunto de la información disponible:

- La identificación de la fuente de peligro;
- El análisis de las vías de exposición (o transporte);
- La identificación de los componentes ambientales.

Para que haya un riesgo de impacto para un componente ambiental debe existir una relación causa efecto, entre:

**Contaminante  $\Rightarrow$  Medio de Transporte  $\Rightarrow$  Componente Ambiental**

Hay que tener presente que existen impactos directos a los cuerpos receptores (agua, suelo, aire, vegetación), generalmente visibles y/o fácilmente identificables dentro del área directamente impactada (ver punto 1).

Por otra parte existen impactos indirectos o cadenas de impacto (por ejemplo la cadena trófica); para los cuales se tiene que realizar un análisis de las vías de propagación (ver punto 2).

A su vez, hay medios que constituyen un medio de transporte, como también un componente ambiental (que debe ser evaluado en cuanto a su vulnerabilidad, ver punto 3).

Una vez, que el evaluador haya analizado la información preliminar de terreno podrá establecer una matriz de relación entre vías de propagación y componente afectado (ver Tabla IV-3).

Dado que en esta etapa aún faltan antecedentes cuantitativos (análisis de suelos y aguas), solo se realiza una relación esquemática entre vías de transporte y medio receptor, es decir: existe (1) o no existe (0), lo que se refleja en la matriz de la Tabla IV-3.

Luego, se completa la matriz de pre-evaluación de impacto y de priorización del riesgo ambiental, considerando la probabilidad de propagación a través de las vías de transporte (ver punto 2) y la identificación y vulnerabilidad de los componentes ambientales susceptibles (ver punto 3).

La ponderación final del riesgo ambiental de cada componente y para cada componente ambiental se obtiene a través de la aplicación de la siguiente ecuación:

$$RA = R * (M * P * V)^{1/3}$$

Donde:

- RA* : es la estimación del riesgo ambiental del componente  
*R* : representa la relación entre el componente ambiental y el medio de transporte indicado en la Tabla IV-3, cuyo valor es 0 o 1.  
*M* : es la magnitud de la fuente  
*P*...: es la probabilidad de propagación del contaminante a través del medio de transporte.  
*V*...: es la vulnerabilidad del componente ambiental

Una vez estimado el riesgo ambiental de cada componente, se elige el valor máximo y se califica de acuerdo a la siguiente escala, que indica la priorización del riesgo ambiental.

- |                     |                 |
|---------------------|-----------------|
| - Puntaje 75 a 100: | <b>MUY ALTO</b> |
| - Puntaje 50 a 74:  | <b>ALTO</b>     |
| - Puntaje 25 a 49:  | <b>MEDIO</b>    |
| - Puntaje 1 a 24:   | <b>BAJO</b>     |

En el caso de priorización **MUY ALTA y ALTA** , siempre se deberían efectuar medidas de contingencia (para reducir el impacto), un monitoreo de seguimiento y/o una evaluación de los riesgos.

En el caso de una priorización **MEDIA**, es posible que las medidas de contingencia (Medidas Inmediatas) sean suficientes para evitar una propagación de la contaminación. En este caso, sólo se requiere el análisis de muestras puntuales (por ejemplo por debajo de los sectores donde se removieron los suelos contaminados).

En caso contrario, se requiere un plan de monitoreo y una evaluación de los riesgos asociados.

Los riesgos con priorización **BAJA** generalmente no requieren de un plan de monitoreo, ni de una evaluación de riesgos.

En el caso del Ejemplo Derrame de Gasolina, se efectuaron análisis de las aguas del canal de regadío y una evaluación de riesgos con respecto a su uso agrícola. Una vez realizadas las medidas de contingencia (remoción de los suelos contaminados), no hubo necesidad de evaluar otros componentes: riegos para la salud humana, de animales, vegetación o fauna terrestre (ver Tabla IV-4)

## 5 APLICACIÓN DEL MÉTODO DE PRE-EVALUACION DE IMPACTO

Considerando los 10 tipos de emergencias que se analizan en este Manual, se han desarrollado 7 ejemplos de aplicación que incluyen aspectos desde la recepción de la solicitud de acudir a la emergencia hasta la priorización del riesgo ambiental asociado a cada componente aplicando el método propuesto en este capítulo.

No se desarrollaron ejemplos específicos para el caso de las emergencias “Derrame de otros productos químicos” e “Incendio de vertedero clandestino” puesto que son análogos a otros tipos de emergencia.

Los ejemplos desarrollados son:

TIPO DE EMERGENCIA	EJEMPLO
<ul style="list-style-type: none"> <li>Derrame de hidrocarburos y derivados de petróleo</li> </ul>	1.- Volcamiento de un camión cargado con diesel
<ul style="list-style-type: none"> <li>Derrames de ácidos y bases corrosivas</li> <li>Derrame de otros productos químicos</li> </ul>	2.- Descarrilamiento de un tren cargado con ácido sulfúrico
<ul style="list-style-type: none"> <li>Aplicación errónea de Plaguicidas y pesticidas</li> </ul>	3.- Aplicación errónea de un plaguicida
<ul style="list-style-type: none"> <li>Derrame de relaves</li> </ul>	4.- Rebalse de un tranque de relaves perteneciente a una faena aurífera
<ul style="list-style-type: none"> <li>Derrame de concentrado de mineral</li> </ul>	5.- Derrame de concentrado de cobre
<ul style="list-style-type: none"> <li>Incendio de bodegas de productos químicos</li> <li>Incendio de vertederos clandestinos</li> </ul>	6.- Incendio de bodega de productos químicos
<ul style="list-style-type: none"> <li>Derrame de lixiviados a rellenos sanitarios</li> </ul>	7.- Rebalse de una laguna de contención de líquidos percolados

A continuación se adjunta cada ejemplo.