



GUÍA METODOLÓGICA PARA LA

Gestión de **sitios** **Contaminados**

PARTE 1 - EVALUACIÓN

Este documento fue elaborado en el marco del estudio “Actualización guía metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes” (licitación pública 608897-28-LE23), a partir de la guía desarrollada por Fundación Chile en 2013.

Elaboración EnSoil

Autores

Jorge Alcaíno
Francisca Mihovilovic

Colaboradores

Alfonso Álvarez
Pablo Moya
Francisco Díaz
Simón Burgos

Contraparte técnica

División de Recursos Naturales y Biodiversidad del Ministerio del Medio Ambiente

Carla Riveros

Revisión técnica

Ministerio de Vivienda y Urbanismo

María Ester Arancibia

Ministerio de Salud

Roxana Tessada

IdeAmbiente

Lilian Veas

Diseño y diagramación

Juan Samuel Pino

Fotografía

EnSoil

Ministerio del Medio Ambiente

2025



La Guía metodológica para la gestión de sitios contaminados consta de 3 partes:

Parte 1 - Evaluación

Se refiere al desarrollo de la Fase I, Fase II y Fase III para la evaluación de sitios donde exista, haya existido o se planee el desarrollo de una actividad potencialmente contaminante (APC).

Parte 2 - Remediación y manejo

Se refiere al desarrollo de medidas de remediación y manejo para sitios donde se haya comprobado la existencia de riesgos a la salud o el medio ambiente.

Parte 3 - Catastro e información suplementaria

Provee indicaciones para la actualización de Catastros de sitios con potencial presencia de contaminantes por parte del Ministerio del Medio Ambiente, además de información adicional en cuanto a metodologías, estándares y otras consideraciones relativas a la evaluación, remediación y remediación de sitios.

***Este documento corresponde a la Parte 1 – Evaluación.**

Índice

07 **Parte 1: Evaluación**



09 **Prólogo**

10 **1- Introducción**

12 **2- Glosario**

18 **3- Objetivos**

20 **4- Consideraciones y alcances**

- 4.1 Definición de suelo
- 4.2 Naturaleza de las evaluaciones de sitios
- 4.3 Marco normativo
 - 4.3.1 Normativa ambiental
 - 4.3.2 Normativa sectorial

- 4.4 Consideraciones de seguridad y ambientales
- 4.5 Exclusiones
 - 4.5.1 Evaluaciones especializadas
 - 4.5.2 Riesgos agudos y crónicos
 - 4.5.3 Áreas mineralizadas

28 **5- Proceso de evaluación de sitios**

- 5.1 Proceso generalizado de evaluación de sitios
- 5.2 Evaluación de riesgo, cadena fuente-ruta-receptor y modelo conceptual de sitio
 - 5.2.1 Evaluación de riesgo
 - 5.2.2 Cadena fuente-ruta-receptor
 - 5.2.3 Modelo conceptual de sitio

37 **6- Fase I - evaluación preliminar del sitio**

- 6.1 Esquema de trabajo para realización de fase I
- 6.2 Metodología de trabajo de la fase I
 - 6.2.1 Identificación del sitio

- 6.2.2 Uso de suelo actual y propuesto
- 6.2.3 Identificación de actividad potencialmente contaminantes
- 6.2.4 Historial del sitio
- 6.2.5 Configuración actual e histórica
- 6.2.6 Identificación y ubicación de productos base, intermedios y finales y residuales
- 6.2.7 Descargas a suelos y aguas
- 6.2.8 Distancia a sector residencial o establecimientos educacionales más cercanos, identificación y ubicación
- 6.2.9 Uso y/o profundidad del agua subterránea (de conocerse)
- 6.2.10 Distancia a cuerpos de agua más cercanos, identificación y ubicación (u otras áreas de significancia ambiental)
- 6.2.11 Entrevistas a personas que conozcan el terreno, ya sea vecinos, trabajadores o extrabajadores (recomendado)
- 6.2.12 Mediciones in-situ o muestreo exploratorio

6.2.13 Identificación de contaminantes potenciales (recomendado)
6.2.14 Determinación de fuente-ruta-receptor y desarrollo de modelo conceptual (recomendado)
6.2.15 Presentación gráfica y georreferenciada de la información

7.3 Etapa 2 – evaluación confirmatoria
7.3.1 Plan de muestreo
7.3.2 Ejecución del muestreo
7.3.3 Evaluación de resultados
7.3.4 Estructura y presentación de informe de fase ii – caracterización del sitio y evaluación confirmatoria

8.2.2 Proceso y metodología
8.2.3 Estructura y presentación de informe de fase III – evaluación de riesgos y valores objetivo de remediación

49 **7- Fase II – caracterización del sitio y evaluación confirmatoria**

7.1 Esquema de trabajo para realización de fase II
7.2 Etapa 1 – caracterización del sitio
7.2.1 Estudio del sitio
7.2.2 Estudio del medio físico
7.2.3 Estudio de receptores
7.2.4 Visita de reconocimiento
7.2.5 Desarrollo de modelo conceptual e informe fase II – etapa 1
7.2.6 Estructura y presentación de informe de fase II – caracterización del sitio

78 **8- Fase III – estudios complementarios para la remediación y/o manejo**

8.1 Evaluación delimitatoria
8.1.1 Objetivo y alcance
8.1.2 Plan de muestreo
8.1.3 Actualización de modelo conceptual
8.1.4 Estructura y presentación de informe de fase III – evaluación delimitatoria
8.2 Evaluación de riesgo y valores objetivo de remediación
8.2.1 Objetivos y alcance

98

9- Bibliografía de referencia

Mostra: Etapa 2 (Metales)
6059/2018.6 No Muestra 12717
reservación
Frasco Plástico 250 g
comparativo
ID - Metal Total, Suelo (ICP-MS) (C/2018)



950001

SPP64-5508

Planta Soexsu

PARTE 1 EVALUACIÓN





Prólogo

La “Guía metodológica para la gestión de sitios contaminados” (también referida como Guía Metodológica), corresponde a una actualización de la “Guía metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes” desarrollada por Fundación Chile el año 2012, aprobada mediante la Resolución Exenta N° 406 del 15 de mayo 2013.

Busca exponer de manera práctica y clara los principales procedimientos involucrados en la evaluación, remediación y manejo de sitios contaminados, en base a un enfoque basado en riesgos, principalmente los asociados a la salud de las personas. Esto implica que los procedimientos para la identificación, evaluación y control de sitios contaminados que se presentan en la guía están orientados a la determinación de la presencia de fuente(s) de contaminación, vía(s) de exposición y población humana eventualmente expuesta a los contaminantes. En palabras simples, a corroborar la existencia de los tres eslabones básicos necesarios para que se manifieste un riesgo (fuente-ruta-receptor) en los sitios en estudio.

La presente edición de la Guía Metodológica consta de 3 partes:

Parte 1 – Evaluación

Parte 2 – Remediación y manejo

Parte 3 – Catastro e información suplementaria

Esperamos que la presente edición de la Guía Metodológica sea de utilidad como instrumento de referencia para los aspectos relativos a la gestión de sitios contaminados. Esto ya sea en procesos llevados a cabo por entidades del sector público, empresas privadas, universidades u otros pertenecientes al sector académico, organizaciones no gubernamentales, y la comunidad en general interesada en la gestión de sitios contaminados.

1 Introducción

La contaminación del suelo es un problema ambiental grave que tiene múltiples causas y efectos negativos en el medio ambiente y la salud humana. De acuerdo con el último catastro realizado por el Ministerio del Medio Ambiente en 2022, existen en el país 10.253 sitios con potencial presencia de contaminantes, de los cuales aproximadamente un tercio corresponde a sitios abandonados.

En el año 2013 el Ministerio del Medio Ambiente desarrolla la “Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes”, aprobada mediante Resolución Exenta N°406/2013, la cual tiene por objetivo definir los procedimientos para estandarizar la investigación de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes (SPPC) en el país. Con la guía metodológica referida, se desarrollan desde entonces una multitud de investigaciones de SPPCs en Chile, especialmente en suelos abandonados, además de compilarse un catastro de SPPCs.

Cabe notar que la presente actualización de la Guía Metodológica contiene un cambio fundamental en la terminología utilizada hasta la fecha, donde se reemplaza la palabra “suelo”, cuando esta se refiera a la delimitación geográfica de un sector o área, por la palabra “sitio”. Esta modificación obedece a tres razones principales: 1) la necesidad de evitar confusión cuando se refiera a suelo como la corteza terrestre, o la matriz ambiental, en contraste a una delimitación de un sector o terreno en particular; 2) en consideración que una investigación de sitio puede contemplar análisis no solo del suelo, sino que además otras matrices ambientales tales como aguas superficiales o subterráneas, sedimentos, polvo depositado, entre otras; y 3) para dar consistencia a los procedimientos indicados en normativas internacionales las cuales se refieren en general a investigaciones de sitios o terrenos contaminados ej. “contaminated site” (USA, Australia), “siti contaminati” (Italia), “Altlasten” (Alemania), o “contaminated land” (Reino Unido).

Es importante entender, sin embargo, que las investigaciones de sitio se refieren en su gran mayoría a la matriz “suelo”, y en este contexto, se continúa utilizando este término en la Guía Metodológica de una manera general (ej. contaminación de suelos, uso de suelo, muestras de suelo, etc.), pero no, como mencionado anteriormente, para referirse a un área delimitada o al nombre formal del instrumento.





Otro cambio importante en la presente edición de la Guía Metodológica es que esta se provee en 3 partes: Parte 1 – Evaluación, la cual se refiere al desarrollo de la Fase I, Fase II y Fase III para la evaluación de sitios donde exista o haya existido el desarrollo de una actividad potencialmente contaminante (APC) o donde se requiera desarrollar un nuevo proyecto o actividad residencial, recreacional, comercial o industrial; Parte 2 – Remediación y manejo, la cual se refiere al desarrollo de medidas de remediación y manejo para sitios donde se haya indicado la existencia de riesgos a la salud o el medio ambiente; y Parte 3 – Catastro e información suplementaria, la cual provee indicaciones para la actualización del Catastro de sitios con potencial presencia de contaminantes por parte del Ministerio del Medio Ambiente e información adicional en cuanto a metodologías, estándares y otras consideraciones relativas a la evaluación, remediación y manejo de sitios. En este respecto y en comparación con la versión anterior, la Parte 1 corresponde a procedimientos de evaluación actualizados, la Parte 2 contiene principalmente información nueva sobre aspectos de remediación, mientras que la Parte 3 se refiere a aspectos suplementarios a la evaluación y remediación.

Otro cambio significativo adicional con respecto a su versión anterior se refiere al objetivo en sí del documento. Mientras que la versión anterior apuntaba a ser una herramienta que ayudara principalmente a funcionarios del Ministerio del Medio Ambiente a catastrar y priorizar terrenos potencialmente impactados, el objetivo de esta versión es ser la principal referencia en Chile en estas materias de metodologías de evaluación y remediación de sitios, para cualquier usuario interesado ya sea del sector público o privado. En este respecto, se debe notar que conforme ha ido avanzando la preocupación de la sociedad por la contaminación de suelos, las evaluaciones de sitios han sido realizadas con mayor frecuencia, ya sea en procesos de evaluación de impacto ambiental de proyectos, por iniciativa de las autoridades regionales o comunales, o incluso en procesos iniciados por privados para sus propios fines.

Estos cambios buscan asegurar que la guía se utilice de manera efectiva y enfocada, dedicando recursos y esfuerzos a los sitios que realmente lo necesitan y evitando la expansión innecesaria de su alcance a situaciones que ya están reguladas por otras normativas o que representan posibles futuros desarrollos no confirmados. Al seguir estas sugerencias, la guía se vuelve un instrumento más robusto y alineado con los principios de gestión de riesgo, protección ambiental y de la salud pública.

La estructura general de las etapas de gestión que incorpora la Guía Metodológica se presenta a continuación.

Parte	Fase	Actividades	Resultados
1 - Evaluación	Fase I - Evaluación preliminar del sitio	- Evaluación preliminar del sitio	- Informe preliminar de situación (IPS)
	Fase II - Caracterización del sitio y evaluación confirmatoria	- Caracterización del sitio - Evaluación confirmatoria	- Informe de caracterización del sitio y evaluación confirmatoria
	Fase III - Estudios complementarios para la remediación y/o manejo	- Evaluación delimitatoria - Evaluación de riesgo y valores objetivo de remediación	- Informe de evaluación delimitatoria - Informe de evaluación de riesgo y valores objetivo de remediación
2 - Remediación y manejo	Remediación y manejo	- Diseño de remediación y manejo	- Plan de remediación y manejo
		- Implementación de remediación y manejo - Validación de remediación y manejo	- Informe de validación
		- Seguimiento de medidas de manejo	- Reportes de seguimiento

2 Glosario

A

Áreas mineralizadas: Zonas con suelos que contienen un alto contenido de metales y metaloides de forma natural.

Actividad potencialmente contaminante: Aquellas actividades que producen, utilizan, manipulan, manejan, almacenan, tratan o disponen sustancias que, por sus características fisicoquímicas, biológicas y toxicológicas, producen o pueden producir daños momentáneos o permanentes a la salud humana, animal o vegetal.

C

Cadena fuente-ruta-receptor: Describe la interacción entre elementos críticos en la dinámica de la contaminación ambiental, donde la fuente se identifica como cualquier actividad que libera sustancias peligrosas al ambiente. Estas sustancias, son transportadas a través de rutas específicas en matrices ambientales como el aire, el agua y el suelo, hasta llegar a un punto de exposición. Este punto es crucial, ya que es donde los contaminantes finalmente entran en contacto con los receptores, que son las personas o poblaciones expuestas.

Contaminación: Presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, en concentraciones o concentraciones y permanencia superiores o inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente. (Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente, Título I, art. 2 letra c)

Contaminante: Todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, luminosidad artificial o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental. (Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente, Título I, art. 2 letra d)

D

Daño ambiental: Describe la interacción entre elementos críticos en la dinámica de la contaminación ambiental, donde la fuente se identifica como cualquier actividad que libera sustancias peligrosas al ambiente. Estas sustancias, son transportadas a través de rutas específicas en matrices ambientales como el aire, el agua y el suelo, hasta llegar a un punto de exposición. Este punto es crucial, ya que es donde los contaminantes finalmente entran en contacto con los receptores, que son las personas o poblaciones expuestas.

Dosis de exposición: Cantidad de sustancia a la que se expone el organismo y el tiempo durante el que estuvo expuesto. La dosis determina el tipo y magnitud de la respuesta biológica, siendo este un concepto central de la toxicología.

Dosis de referencia: Dosis diaria estimada por debajo de la cual es improbable que un contaminante no cancerígeno cause efectos adversos a las personas, incluyendo grupos susceptibles como los niños.

E

Escenario de exposición: Conjunto de hechos, datos, suposiciones, inferencias y, a veces, juicios profesionales sobre cómo se produce la exposición (o produciría una exposición potencial futura). Incluye, en general, información sobre el entorno físico en el que se produce la o

las exposiciones, la caracterización de la fuente de contaminación; rutas de exposición; caracterización de población expuesta; y factores de exposición.

Evaluación de riesgo ambiental: Procedimiento de análisis de la contaminación potencialmente presente o presente en un lugar determinado, cuyo objetivo es establecer el riesgo que la misma supone, en el presente o futuro, para los sujetos de protección (poblaciones humanas, ecosistemas u otros recursos), de acuerdo con las características específicas del caso. Su finalidad es entregar elementos para tomar decisiones sobre la gestión del riesgo y las consecuentes medidas a adoptar.

Exposición: Proceso mediante el cual las personas o un receptor ecológico entran en contacto con un contaminante.

F

Factores de exposición: Factores relacionados con el comportamiento humano y características que ayudan a determinar la exposición de un individuo a un contaminante. Estos factores incluyen: tasas de ingestión (por ejemplo, alimentos, suelo, agua) o inhalación; factores que afectan a la exposición dérmica (por ejemplo, superficie de la piel, adherencia suelo-piel); factores de actividad (por ejemplo, tiempo que se pasa en interiores, en exteriores, etc.); u otros factores (por ejemplo, peso corporal, uso de productos de consumo).

Factor de potencia cancerígena: Indica el incremento en la probabilidad de desarrollar un cáncer, a lo largo de una vida, por exposición crónica a una dosis unitaria de un contaminante cancerígeno. La probabilidad de sufrir cáncer se hallará, por tanto, multiplicando la dosis diaria de exposición crónica por el factor de potencia cancerígena.

Fase I Evaluación preliminar del sitio: Proceso de evaluación que consiste en recopilar información ambiental suficiente para poder determinar si existe potencial de contaminación en el sitio, y si es necesario realizar investigaciones adicionales y/o implementar medidas inmediatas.

Fase II Caracterización del sitio y evaluación confirmatoria: Proceso de evaluación que realiza cuando la Evaluación preliminar de sitio indica que existe, o es probable que exista contaminación, y la información disponible es insuficiente para poder caracterizarla y diseñar medidas de manejo que reduzcan el riesgo hasta niveles aceptables. Busca llenar los vacíos planteados en la Fase I y evaluar de manera integral si se está configurando la cadena fuente-ruta-receptor.

Fase III Estudios complementarios para la remediación y/o manejo: Proceso que consiste en el desarrollo de estudios complementarios conducentes a optimizar el diseño de un Plan de remediación o manejo, una vez confirmada la existencia de riesgo a través de la Fase II.

G

Gestión: Proceso que considera las actividades que se deben desarrollar en un sitio con potencial presencia de contaminantes o un sitio contaminado con el fin de evitar que este genere efectos negativos en la salud de las personas o el medio ambiente. Esto incluye principalmente procesos de evaluación, remediación y manejo.

M

Manejo: Proceso que consiste en cortar la ruta de exposición a contaminantes mediante diferentes medidas, y así controlar o reducir el riesgo que estos puedan ocasionar. Se diferencia del proceso de “remediación” en que en este caso los contaminantes no necesariamente son eliminados o disminuidos sus niveles. Un ejemplo de manejo sería un proceso de encapsulamiento.

Modelo conceptual de sitio: Relato escrito y/o representación gráfica del sistema ambiental y de los procesos físicos, químicos y biológicos que determinan el transporte de contaminantes desde la fuente, a través de los medios que componen el sistema, hasta los potenciales receptores que forman parte de él.

Monitoreo: Medición del cambio en concentraciones de analitos o características físicas relevantes en diferentes matrices potencialmente afectadas (suelos, aguas, polvo, etc.) dentro de un sitio o sus alrededores, realizado para evaluar el cumplimiento de objetivos ambientales definidos.

N

Nivel background: Concentración de un compuesto o elemento presente en el suelo en una localidad definida que incluye el nivel de fondo natural y aportes de fuentes difusas antropogénicas no atribuibles a actividades industriales, comerciales o agrícolas específicas. El suelo de donde se obtenga el nivel background debe ser de características similares en cuanto a geología y tipo de suelo, y localizado en las cercanías del sitio en evaluación.

P

Peligro: Propiedad inherente y potencial de un contaminante de causar daño. El término “peligroso” define la capacidad de una sustancia de producir efectos adversos en los organismos.

Puntos de exposición: Zona donde es posible encontrar presencia de contaminantes y donde los receptores, a través de alguna vía, pueden entrar en contacto con los medios contaminados (medios de contacto).

R

Remediación: Proceso que consiste en controlar la fuente de contaminación para eliminar o disminuir el riesgo que esta pueda ocasionar hasta un nivel aceptable. Se diferencia del proceso de manejo

(ver definición) en que en este caso los contaminantes son eliminados, o sus concentraciones reducidas hasta un valor objetivo definido. Un ejemplo de esto sería un proceso de remoción y disposición.

Riesgo: La probabilidad de que ocurra un resultado adverso en un período de tiempo dado en una persona, grupo de personas o receptor ecológico, expuestas a una sustancia específica. El riesgo depende de la toxicidad de la sustancia, la cantidad de la sustancia que efectivamente entra en el cuerpo (dosis) y las características del receptor evaluado.

Riesgo aceptable: Probabilidad máxima de contraer una enfermedad o lesión por un individuo, grupo o sociedad, por la exposición a una sustancia química, que se ha considerado aceptable en base a datos científicos y sociales.

Riesgo agudo: Categoría de riesgo a la salud humana y/o procesos ecosistémicos sucedidos de forma repentina y con efectos inmediatos.

Riesgo crónico: Categoría de riesgo a la salud humana y/o procesos ecosistémicos aparentemente inocuo a muy corto plazo, pero con efectos observables en el largo plazo en el organismo o receptor.

Ruta de exposición: Trayectoria específica que sigue un contaminante desde su fuente hasta que entra en contacto con las poblaciones seleccionadas como potencialmente expuestas. Incluye detalles sobre la vía de exposición (ej, inhalación, ingestión, o contacto dérmico).

S

Seguimiento: Observación del cambio de condiciones ambientales y/o físicas ya sea realizadas como monitoreo (ver definición), o de otros aspectos donde estos pudiesen afectar la liberación de compuestos o elementos potencialmente tóxicos, realizado posterior a un proceso de manejo (ver definición).

Sitio activo: Sitio en el cual existe una actividad potencialmente contaminante en operación y donde se identifique también un titular definido, responsable de la actividad, que puede o no ser el propietario del terreno.

Sitio inactivo: Sitio en el cual existió una actividad potencialmente contaminante, cuyo titular está identificado, pero la actividad no esté ejecutándose en el momento, pudiendo existir otra actividad no potencialmente contaminante activa.

Sitio abandonado: Sitio en el que se haya desarrollado una actividad potencialmente contaminante en el pasado, donde no es posible distinguir o individualizar al titular o dueño del predio, independiente de quien haya ejecutado la acción contaminante.

Sitio con Potencial Presencia de Contaminantes (SPPC): Lugar o terreno delimitado geográficamente en el que se desarrollan o han

desarrollado actividades potencialmente contaminantes. Incluye a sitios abandonados, activos o inactivos.

Suelo: Capa superior de la superficie terrestre compuesta por minerales, materia orgánica, agua y aire.

Sustancia tóxica: Aquella que pueden causar la muerte, lesiones graves o puede producir efectos perjudiciales para la salud del ser humano si se ingiere, inhala o entra en contacto con la piel.

V

Vía de exposición: Mecanismo por medio del cual un contaminante entra al organismo (ingestión, inhalación, contacto dérmico).



3 Objetivos

La presente Guía Metodológica tiene por objetivo proporcionar un conjunto de pautas y procedimientos sistemáticos que ayuden a abordar de manera efectiva y eficiente los problemas relacionados con la identificación, evaluación, remediación y/o manejo de la contaminación de sitios, con la finalidad de establecer mecanismos para la protección de la salud humana y el medio ambiente. En este sentido se plantean los procedimientos necesarios para:

- **Identificar las fuentes de contaminación:** Entregar procedimientos para la identificación de las fuentes de contaminación presentes en un área o sitio específico, las que pueden incluir actividades industriales, mineras, derrames de sustancias, entre otras.
- **Evaluar el grado de contaminación:** Proporcionar métodos y técnicas para evaluar la magnitud y la extensión de la contaminación en el sitio, lo que incluye el muestreo de suelos (y otras matrices), análisis químicos y evaluación de riesgos.
- **Establecer un marco metodológico para los procesos de remediación y/o manejo:** Entregar procedimientos para el desarrollo de procesos de remediación y/o manejo del sitio.
- **Cumplir con regulaciones y estándares:** Brindar apoyo para entender y cumplir con las regulaciones ambientales y estándares aplicables en Chile, y donde exista ausencia de estos, proveer de referencias internacionales.
- **Proporcionar información técnica:** Entregar información técnica detallada sobre las herramientas, tecnologías y metodologías que pueden utilizarse en la identificación, evaluación y remediación de la contaminación en un sitio.
- **Promover la comunicación y la participación:** Proveer de lineamientos para la comunicación efectiva de los resultados de los procesos de identificación, evaluación y remediación, incluyendo la participación de las partes interesadas para abordar preocupaciones y dar pie a la toma de decisiones de manera transparente.



4 Consideraciones y alcances

4.1 Definición de suelo

Primeramente, se debe notar que la Guía Metodológica se refiere principalmente a temas relacionados a la contaminación de la matriz suelo, no obstante, en el contexto de una “investigación de sitio” pueden darse casos en los que sea necesario evaluar otras matrices ambientales, tales como aguas subterráneas, aguas superficiales, sedimentos, polvo depositado o sedimentable, o incluso alimentos.

De manera general, la necesidad de realizar evaluación de otras matrices se genera cuando la contaminación de suelo tiene el potencial de afectar (o está actualmente afectando) a una de estas matrices, y de este modo pueda estarse configurando una situación de riesgo para un receptor final (ya sea en cuanto a salud humana o medio ambiente). El caso inverso, también pudiese ser posible, en cuanto a que contaminación presente en otra matriz tuviese la capacidad potencial de afectar el estado del suelo. El término “suelo” se refiere a la capa superior de la superficie terrestre compuesta por minerales, materia orgánica, agua y aire. Esta capa es esencial para el crecimiento de plantas, provisión de hábitat para una gran variedad de organismos, y otros procesos fisicoquímicos ambientales. El suelo, en su concepción formal, se forma a través de procesos geológicos y biológicos a lo largo de un período de tiempo considerable. Estos procesos incluyen la meteorización de las rocas, la descomposición de la materia orgánica, la actividad de microorganismos, la acción de organismos como lombrices y raíces de plantas, entre otros.

En el contexto de una investigación de sitios la definición de “suelo” se amplía, incluyendo procesos antropogénicos de transporte y depositación de material en un área geográfica determinada. En este sentido, sería también considerado como “suelo” del sitio, la capa superior de un terreno compuesta por material depositado proveniente del exterior (ej. material de relleno) o incluso desde otra parte del sitio, salvo donde el material pudiese identificarse de un modo particular por su homogeneidad (ej. relave, escorias, cenizas, etc.). Lo anterior no implica que este material no deba evaluarse dentro de la evaluación de sitio, sino que, en lo posible, se debe referir a este material por su nombre común, diferenciándolo del suelo. En este caso, se debe considerar adicionalmente la necesidad de evaluar la peligrosidad del material según la normativa nacional

(D.S. 148/2003 de MINSAL), especialmente si fuese necesario extraer, transportar y/o disponer este material en algún momento.

Se plantea adicionalmente, que el material (según la definición anterior) que se encuentre en el fondo o lecho de algún cuerpo de agua (con agua o sin agua / natural o artificial), se denominará para estos efectos como “sedimento”. Finalmente, el material que haya sido transportado principalmente por acción eólica y depositado sobre superficies duras se denominará como “polvo”.

Las definiciones anteriores pueden no corresponder con aquellas dadas en disciplinas particulares (ej. geología, edafología, etc.), sin embargo, se entregan en un intento de dar mayor consistencia a la presentación de resultados. Más aun, se prevé que no siempre las condiciones encontradas se ajustarán a estas definiciones, ya sea por la presencia de material heterogéneo u otras razones. En este sentido, el usuario debe usar el criterio profesional y realizar en lo posible una descripción acabada de la composición de la matriz que se está evaluando (además de tomar registros fotográficos), de manera de otorgar consistencia entre diferentes eventos de muestreo.

4.2 Naturaleza de las evaluaciones de sitios

Las evaluaciones de sitios son desarrolladas de acuerdo a la información disponible en el momento en el cual se realizan, y en este sentido, están en estricto rigor circunscritas al periodo de tiempo en el cual se desarrollan. En este respecto, se debe reconocer que las condiciones del suelo pueden cambiar en el tiempo, ya sea por procesos naturales como por actividades humanas, por lo que siempre se debe evaluar la pertinencia del uso de información anteriormente recopilada.

Más aun, las investigaciones de sitio se basan en el muestreo y análisis de puntos discretos distribuidos en un área definida, por tanto, las conclusiones del estado de este corresponden a una aproximación y estimación realizada bajo juicio profesional. Existen además, otros factores adicionales que influyen en el proceso, como la veracidad o precisión de la información histórica recopilada, la interpretación realizada por laboratorios, errores humanos, entre otros.

No existe, en este sentido, un método infalible (que sea costo-efectivo) para determinar con total precisión las condiciones del subsuelo, y por esta razón, se debe siempre considerar la posibilidad de que la variación (natural o antropogénica) de condiciones, corrección de algún dato o información, o la revelación de información no contemplada, hagan necesaria una nueva evaluación. En consecuencia, las fases de evaluación refieren a los objetivos principales buscados y, por ende, no poseen límites absolutos, a veces resultando en un proceso iterativo, en que el resultado

final esperado, contenga la información necesaria para el desarrollo de un modelo conceptual robusto, y que permita el desarrollo de medidas de gestión costo-efectivas.

4.3 Marco normativo

4.3.1 Normativa ambiental

Como se ha mencionado en secciones anteriores, la gestión de un sitio no considera solo la matriz ambiental suelo, sino que también la relación y potencial afectación entre las distintas matrices, incluyendo aguas superficiales, aguas subterráneas, aire, entre otras.

En Chile, como se ha expuesto anteriormente, no existe normativa ambiental para suelos, pero sí existe para otras matrices. En este sentido, la evaluación de sitios debe considerar también la caracterización de estas según sea relevante y las concentraciones obtenidas deben compararse también con la normativa nacional correspondiente. En este caso, se debe considerar la normativa según el objeto de protección asociado a los objetivos de la gestión de suelos, es decir, salud humana y/o ecosistemas/ecológicos. Donde esta no exista, se debe referir a normativa internacional justificando la elección debidamente.

En el caso particular de suelos, se han incluido recomendaciones para la elección de normativa internacional a utilizar en las evaluaciones y procesos de remediación, estableciendo criterios y objetivos de calidad, con la finalidad de poder avanzar en procesos de gestión de suelos contaminados en el intertanto se desarrolla normativa de calidad ambiental específica en el país. Cabe notar que incluso cuando existiese normativa nacional para suelos, se prevé que ésta pueda no considerarse todos los analitos necesarios para una evaluación de un sitio particular, por tanto, las recomendaciones para la elección de normativa internacional seguirán siendo válidas.

En la legislación chilena existen principalmente 3 tipos de normativa ambiental: normas de calidad, normas de emisión y normas chilenas aprobadas. Las normas de calidad a su vez se dividen en primarias y secundarias, siendo las normas primarias aquellas normas de calidad que tienen por objetivo proteger la salud humana, en cambio, las normas secundarias tienen por objetivo proteger o conservar el medio ambiente, y son de carácter y aplicabilidad local. Las normas de emisión evalúan la calidad de un residuo/compuesto que se descarga al ambiente, y considera efectos como la dilución y la dispersión. Las normas chilenas aprobadas (NCh), por su parte, carecen de obligatoriedad, y se presentan como pautas en diversos procesos. Estas normas son de naturaleza técnica, creadas por el Instituto Nacional de Normalización (INN) en conjunto con un comité técnico, y sólo serán de carácter obligatorio, cuando un cuerpo normativo así lo exprese. Algunas de estas poseen requisitos y valores de





calidad de matrices sanitarias, por ejemplo, para agua potable (SISS), y otras de calidad de productos, ej.: juguetes, material de la construcción.

En una evaluación de sitio, cuando se genere la necesidad de evaluar otras matrices, se deberá entonces considerar la normativa nacional vigente para analizar la calidad de otras matrices ambientales relevantes en el sitio (aguas y aire), dependiendo del objeto de protección (receptor final). En estos casos, naturalmente se debe evaluar la matriz con respecto a la normativa nacional específica dentro del contexto de la evaluación de sitio. Donde no exista esta normativa, al igual que para la matriz suelo, se debiese evaluar la matriz en cuestión utilizando normativa internacional. Las normas de emisión debiesen considerarse en caso de que existieran fuentes activas descargando al ambiente, sin embargo, estas no son útiles para determinar si existe o no contaminación de una matriz ambiental.

En la Parte 3 – Anexo 1 de esta Guía se presenta el listado de las normas de calidad ambiental primarias y secundarias, además de las normas chilenas aprobadas con requerimientos de calidad.

4.3.2 Normativa sectorial

En forma adicional, existen normas vigentes de otros servicios públicos que se relacionan a la gestión de suelos y/o sitios, las cuales se presentan a continuación.

Reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos (DS 148/2003 de MINSAL)

Este reglamento establece las condiciones sanitarias y de seguridad mínimas a que deberá someterse la generación, tenencia, almacenamiento, transporte, tratamiento, reuso, reciclaje, disposición final y otras formas de eliminación de los residuos peligrosos.

Actualmente, por solicitud o requerimiento de la autoridad sanitaria en el contexto de la evaluación de impacto ambiental de proyectos emplazados en sitios con potencial presencia de contaminantes, se debe evaluar o descartar la peligrosidad de suelos que se vayan a disponer en un sitio externo, de manera de asegurarse que, si estos suelos presentan características de peligrosidad, sean dispuestos de manera correcta y segura (en rellenos de seguridad, adecuados para residuos peligrosos). En caso de que no presenten características de peligrosidad, en general se permite que estos suelos sean dispuestos en lugares habilitados para residuos industriales no peligrosos o de construcción. El reglamento también indica la posibilidad de disponer dentro del mismo sitio, de manera especial, suelos o materiales resultantes de faenas de movimientos de tierras contaminadas por ciertos constituyentes, previa autorización de la autoridad sanitaria.

Es por lo anterior que, en el contexto de la gestión de sitios contaminados, se debe considerar la realización de muestreo y análisis de peligrosidad a los suelos cuando estos sean trasladados o dispuestos fuera del sitio. Adicionalmente, estos deberán ser declarados en el RETC, a través de Ventanilla Única, en el sistema sectorial correspondiente, según la normativa ambiental vigente.

Reglamento sanitario de los alimentos

Este reglamento establece las condiciones sanitarias a que deberá ceñirse la producción, importación, elaboración, envase, almacenamiento, distribución y venta de alimentos para uso humano, así como las condiciones en que deberá efectuarse la publicidad de los mismos, con el objeto de proteger la salud y nutrición de la población y garantizar el suministro de productos sanos e inocuos.

En su artículo 101 indica que un “alimento contaminado es aquel que contenga: a) microorganismos, virus y/o parásitos, sustancias extrañas o deletéreas de origen mineral, orgánico o biológico, sustancias radioactivas y/o sustancias tóxicas en cantidades superiores a las permitidas por las normas vigentes, o que se presuman nocivas para la salud; b) cualquier tipo de suciedad, restos o excrementos; c) aditivos no autorizados por las normas vigentes o en cantidades superiores a las permitidas”.

Por otra parte, en su artículo 160 (contenido en Párrafo I: De los metales pesados) el Reglamento indica los límites máximos que deberán tener ciertos alimentos en cuanto a concentración de metales pesados (arsénico, cadmio, estaño, hierro, mercurio, plomo, selenio).

En este sentido, al realizar evaluaciones de suelos se deberá tener en consideración el potencial transporte de contaminantes desde suelos contaminados a cultivos existentes (por ejemplo, frutas, verduras, cereales, etc.) o criaderos de animales, realizando (en caso de existir una potencial ruta) análisis de concentración de contaminantes en estos alimentos, cerciorándose que no se sobrepasen los límites indicados en esta norma sectorial. Al respecto, se deben tomar todas las medidas necesarias para evitar el movimiento de material sedimentable a sectores aledaños del sitio en evaluación, y de esta forma evitar la extensión de la potencial contaminación.

Cabe notar que existen, además, guías sectoriales desarrolladas por otros servicios públicos (Sernageomin, Ministerio de Energía, SAG) que se refieren a temas de muestreo de suelos y/o evaluación de contaminación para actividades específicas. Se recomienda revisar estos documentos en el caso de realizar estudios geoquímicos en sitios mineros, centrales termoeléctricas o suelos agrícolas para considerar aspectos particulares de estos. Estas guías son las siguientes:

- Sernageomin / Fundación Chile. 2015. Guía metodológica para la estabilidad química de faenas e instalaciones mineras.
- GIZ / Inodú. s.f. Guía técnica de buenas prácticas ambientales para el cierre de centrales a carbón.
- Servicio Agrícola y Ganadero. 2011. Pauta para estudio de suelos.

4.4 Consideraciones de seguridad y ambientales

El trabajo de terreno relacionado a las investigaciones de sitios contaminados puede traer consigo riesgos considerables de variada índole, los que incluyen exposición a condiciones climáticas adversas, accidentes (debido a caídas o maquinaria), exposición a compuestos tóxicos, entre varios otros.

Por esto, es vital considerar aspectos de seguridad en la planificación de las actividades, realizando un análisis de riesgo y plan de seguridad previo a la ejecución de cualquier actividad de terreno. Los planes de seguridad deben ser realizados específicamente para cada sitio, e identificar claramente los riesgos, su método de control, responsabilidades, contactos y un cronograma de actividades. Es vital que el personal que participe en estas labores la capacitación necesaria en aspectos de seguridad, y como mínimo utilizar de elementos de protección personal (EPP).

Además, antes de comenzar cualquier inspección invasiva, es esencial que se identifique la localización de cualquier servicio subterráneo para evitar daños sobre líneas de energía, alcantarillado, entre otros, mediante la revisión de planos y consultas a propietarios, usuarios, vecinos del sitio o empresas de servicios.

Por otro lado, las investigaciones de sitios contaminados podrían generar impactos a los mismos suelos, aguas u otras matrices ambientales. Para controlar estos riesgos ambientales, se deben tomar medidas que incluyen, por ejemplo, la disposición correcta de residuos generados en el muestreo, mantención de vehículos y maquinaria en condiciones apropiadas, control de emisión y dispersión de polvo o material fino al realizar excavaciones, no utilizar aceites o sustancias durante la perforación que puedan contaminar el acuífero, y sobre todo la disposición de material de descarte de un evento de muestreo.

Sobre este último punto, en general es aceptable devolver a su lugar de origen el suelo sobrante generado por una calicata o perforación; sin embargo, si el material extraído se encuentra evidentemente contaminado y su reposición puede generar riesgos ambientales, se debe optar por su disposición como residuo por parte de una empresa autorizada, almacenándolo en el intertanto en contenedores dedicados para este fin. En este sentido, también se deben tomar los resguardos

para que el material contaminado (suelos, aguas, lodos) no entre en contacto con el suelo o con acuíferos limpios.

Por ejemplo, para el caso de un proyecto de saneamiento, se debe evaluar su pertinencia de ingreso al SEIA, a través del cumplimiento al artículo 3, letra o.11 del DS40/2012 del Ministerio del Medio Ambiente, que aprueba Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental y/o se debe contar con el Permiso del Director de Obras Municipal, DOM.

4.5 Exclusiones

4.5.1 Evaluaciones especializadas

Para la investigación de sitios, se debe considerar que ciertas fuentes de riesgo presentes en estos requieren de metodologías especializadas de evaluación, las cuales no están cubiertas por la Guía Metodológica. Estas incluyen:

- Artefactos explosivos militares abandonados o sin estallar
- Sustancias radiactivas
- Materiales y residuos patógenos, y contaminantes biológicos en general
- Asbestos o materiales que contengan asbestos
- Gases explosivos o mezclas de estos

Tampoco están cubiertos por la Guía Metodológica aquellos aspectos relacionados a riesgos físicos o geológicos presentes en un sitio, como por ejemplo fenómenos de remoción en masa, licuefacción, problemas de estabilidad, etc. En estos casos se debe consultar a la autoridad competente por la metodología apropiada para realizar la evaluación.

4.5.2 Riesgos agudos y crónicos

Los riesgos a la salud se pueden separar de manera general en riesgos agudos o crónicos. Los riesgos agudos son eventos repentinos con efectos inmediatos, mientras que los riesgos crónicos se desarrollan a lo largo del tiempo y pueden resultar en efectos a largo plazo en la salud.

Se debe notar que las metodologías incluidas en la Guía Metodológica se refieren casi exclusivamente a aspectos de riesgos crónicos a la salud. No obstante, algunos sitios pueden presentar condiciones que generen peligros inminentes para la salud, o riesgo de exposición aguda a alguna sustancia, para lo cual es necesario que se tomen las medidas del caso, de acuerdo a la normativa sanitaria o la que aplique, de acuerdo al escenario, para así evitar daños a los titulares, trabajadores y/o terceros.

4.5.3 Áreas mineralizadas

Un caso especial de estudio relevante en Chile, especialmente en el norte del país, son las zonas mineralizadas, cuyos suelos poseen altos contenidos de metales y metaloides de manera natural. Estas áreas pueden ser evaluadas utilizando las metodologías y técnicas indicadas en la Guía Metodológica, pero no dentro del marco de un sitio contaminado. En este respecto, serían aplicables, por ejemplo, los conceptos de ruta de exposición, concentraciones de referencia, o las técnicas de muestreo para diferentes matrices, pero no necesariamente aquellos referidos a la remediación de un sitio.



5 Proceso de evaluación de sitios

5.1 Proceso generalizado de evaluación de sitios

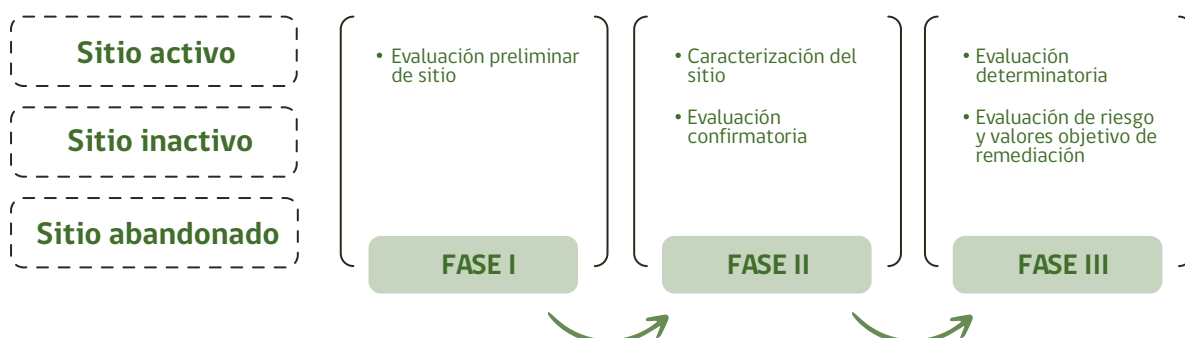
Es importante comprender el concepto de las “actividades potencialmente contaminantes (APC)”, que corresponden a aquellas que producen utilizan, manipulan, manejan, almacenan, tratan o disponen sustancias que, por sus características fisicoquímicas, biológicas y toxicológicas, producen o pueden producir daños momentáneos o permanentes a la salud humana, animal o vegetal. Un listado de las actividades potencialmente contaminantes se presenta en la Parte 3 – Anexo 2 de esta Guía.

En cuanto a los tipos de sitios, para efectos de su evaluación se deben considerar las siguientes definiciones con respecto a los tipos de sitios según su estado de actividad.

- **Sitio activo:** Sitio en el cual existe una actividad potencialmente contaminante en operación y donde se identifique también un titular definido, responsable de la actividad, que puede o no ser el propietario del terreno.

- **Sitio inactivo:** Sitio en el cual existió una actividad potencialmente contaminante, cuyo titular está identificado, pero la actividad no esté ejecutándose en el momento, pudiendo existir otra actividad no potencialmente contaminante activa.

- **Sitio abandonado:** Sitio en el que se haya desarrollado una actividad potencialmente contaminante en el pasado, donde no es posible distinguir o individualizar al titular o dueño del predio, independiente de quien haya ejecutado la acción contaminante.



Adicional a las categorías de sitios activos, inactivos y abandonados, se debe considerar aquellos sitios donde se planea en el futuro realizar una APC. En estos casos, es necesario el establecer las concentraciones basales de los contaminantes potenciales asociados a la APC en los suelos previo a la instalación del proyecto, como una manera de poder evaluar futuros impactos (por ejemplo, a través de la ejecución de un monitoreo de suelos).

5.2 Evaluación de riesgo, cadena fuente, ruta, receptor y modelo conceptual de sitio

Los siguientes conceptos forman la base metodológica del proceso de evaluación de sitios, y fueron recogidos de normativa internacional, especialmente de las guías Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS)¹ de la United States Environmental Protection Agency (USEPA) de Estados Unidos y National Environment Protection (Assessment of Site Contamination) Measure 1999 (NEPM) de Australia.

5.2.1 Evaluación de riesgo

El concepto de riesgo, en el contexto de las evaluaciones de sitio, se refiere a la posibilidad de que ocurran daños o impactos negativos en la salud de las personas o el ecosistema producto de contaminación actual o pasada. Es importante comprender, entonces, que en estricto rigor el desarrollo de las Fases I, II y III (que se detallarán a lo largo de esta guía) implican en sí una “evaluación de riesgos”, solo que a diferentes niveles de detalle. En este sentido, se puede indicar de manera general lo siguiente:

- **Fase I Evaluación preliminar del sitio** – El análisis de riesgo se basa principalmente en datos aportados por el mismo titular (donde este existiese), y usualmente no incluye muestreo.

- **Fase II Caracterización del sitio y evaluación confirmatoria** – El análisis de riesgo se basa en una profundización de la información de la Fase I realizada por un profesional independiente, y contempla un evento de muestreo de suelos donde se compara con normativa de referencia. A esto último se le denomina para una evaluación Tier 1 (no confundir con Fase I) según la metodología desarrollada por la ASTM².

- **Fase III Estudios complementarios para la remediación y/o manejo** – Contempla, además de la delimitación de la contaminación, un componente llamado específicamente “evaluación de riesgos”, donde el proceso se realiza utilizando factores propios del sitio (evaluación “sitio-específica”), y que incluye la derivación de niveles de referencia propios para el escenario evaluado. A esto último se le denomina para una evaluación Tier 2 (no confundir con Fase II) según la metodología desarrollada por la ASTM.

1 - <https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-rags-part>

2 - Metodología denominada Risk-Based Corrective Action (RBCA) desarrollada por la American Society for Testing and Materials (ASTM). Cabe notar que la metodología RBCA no se refiere específicamente a las fases de evaluación. En este sentido, una evaluación Tier 1 corresponde a una comparación con normas de referencia y Tier 2 al desarrollo de valores objetivo sitio-específico. Existe además una tercera etapa, Tier 3, que indica aún mayor detalle, como por ejemplo la colección de datos adicionales o el desarrollo de modelos complejos para un sitio determinado.

5.2.2 Cadena fuente-ruta-receptor

En este marco, es relevante también el concepto de la cadena “fuente-ruta-receptor”, el cual se utiliza para la evaluación de riesgos y comprender cómo los contaminantes pueden afectar la salud humana y el medio ambiente donde:

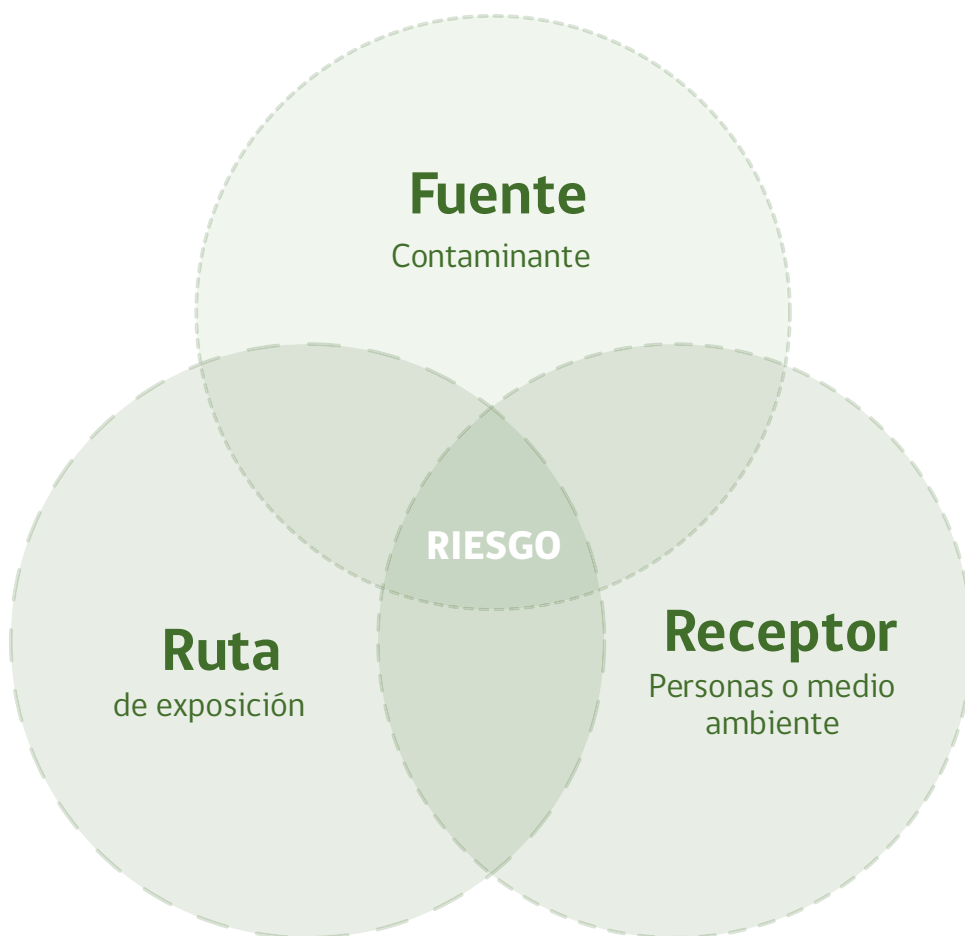
- La **fuentes** se refiere a la causa de la contaminación, que se identifica con cualquier actividad antrópica responsable de la emisión del contaminante.

- La **ruta** se refiere a la vía que siguen los contaminantes desde la fuente hasta el receptor, lo que incluye el medio y el proceso por el que se transporta el contaminante y la vía de exposición por la que ingresa al receptor. Las rutas pueden variar y pueden incluir los procesos de lixiviación de contaminantes hacia las aguas subterráneas, emisión de vapores tóxicos al aire o la migración de contaminantes a través del suelo hacia otros medios, como cuerpos de agua superficiales; y las vías de exposición como inhalación, contacto dérmico, ingestión o absorción por plantas.

- El **receptor** es el organismo o sistema que se ve afectado por la contaminación. En el contexto de suelos contaminados, los receptores pueden ser personas que viven o trabajan cerca del sitio contaminado, o la flora y fauna del área.

El avance de una fase a la otra (y finalmente a la determinación de medidas) es necesario cuando existe la posibilidad de que se esté configurando la cadena fuente-ruta-receptor. Si uno de estos eslabones no está presente, no existe entonces la posibilidad de riesgo y no sería necesario continuar con el proceso de evaluación o implementar alguna medida de remediación o manejo.

Cabe notar, sin embargo, que ante la falta de información al momento de evaluar la existencia de riesgo, se debe utilizar el principio precautorio que indica que “cuando haya peligro de daño grave o irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costos para impedir la degradación del medio ambiente”.



5.2.3 Modelo conceptual de sitio

En este mismo marco, es importante comprender finalmente la importancia de los modelos conceptuales de sitio. Un modelo conceptual de sitio (MCS) es una representación de la información recopilada con respecto a los conceptos anteriormente detallados (fuentes de contaminación, receptores y las rutas de exposición entre esas fuentes y receptores). El desarrollo de un MCS es una parte esencial de las investigaciones de sitio y proporciona el marco para identificar cómo se contaminó este, y cómo los receptores potenciales pueden estar expuestos a la contaminación en el presente o en el futuro.

El desarrollo de un MCS es un proceso dinámico, y es importante que toda la información y los datos de cada etapa de una evaluación se revisen de forma integrada (utilizando un enfoque de múltiples líneas de evidencia cuando proceda) y se utilice para fundamentar las decisiones posteriores sobre si es necesario seguir investigando o manejando un sitio.

El MCS inicial se elabora a partir de los resultados de una Fase I y se utiliza para identificar vacíos de datos y fundamentar una decisión sobre si es necesaria una investigación detallada. El MCS debe cuestionarse y actualizarse continuamente a lo largo del proceso de evaluación, y debe presentarse por escrito e ilustrarse con gráficos y diagramas de flujo que sean adecuados para informar los debates con los actores interesados sobre la investigación y el manejo de los impactos potenciales de la contaminación.

El MCS debe identificar las rutas completas y potenciales entre la(s) fuente(s) conocida(s) o potencial(es) y el(los) receptor(es). Cuando la ruta entre una fuente y un receptor está incompleta, no puede producirse la exposición a sustancias químicas a través de esa vía, pero en la evaluación debe tenerse en cuenta la posibilidad de que esa vía se complete (por ejemplo, mediante la extracción de aguas subterráneas o un cambio en el uso del suelo).

Los elementos esenciales de un MCS inicial son:

- Fuentes conocidas y potenciales de contaminación y contaminantes de interés, incluyendo el mecanismo o mecanismos de contaminación (por ejemplo, derrame superficial o liberación subsuperficial de un tanque o tubería)
- Medios potencialmente afectados (suelo, sedimentos, aguas subterráneas, aguas superficiales, aire interior y aire ambiente) y posibles procesos de transporte
- Vías de exposición potenciales y completas
- Receptores humanos y ecológicos

La identificación de brechas de datos y la evaluación de incertidumbres son actividades clave en el desarrollo y perfeccionamiento de un MCS durante la evaluación de un emplazamiento. Por lo tanto, es importante que el MCS aborde: la probabilidad de que los datos disponibles sean representativos, cuáles son las posibles fuentes de variabilidad e incertidumbre, la importancia de los vacíos identificados para los objetivos y la fiabilidad de la evaluación del sitio.

Al elaborar el MCS, se debe distinguir entre variabilidad e incertidumbre. La variabilidad surge de la heterogeneidad del entorno, como las variaciones en las propiedades del suelo, la litología o los cambios en los niveles de contaminantes a lo largo del tiempo y el espacio. La incertidumbre representa la falta de conocimiento sobre factores como los niveles de contaminantes (que puede reducirse con investigación adicional).



La identificación de los vacíos de datos debe llevarse a cabo de una manera lógica y estructurada, para facilitar la evaluación de la incertidumbre y la importancia de estos vacíos de datos para los objetivos de la evaluación. Los esfuerzos de investigación subsiguientes deben centrarse en subsanar los vacíos críticos de forma proporcional a las incertidumbres identificadas y en obtener datos representativos del área de evaluación.

Un ejemplo de modelo conceptual de sitio se presenta en la siguiente tabla y figura, de manera esquemática y gráfica, respectivamente.

Foco	Mecanismo de migración	Medio de exposición	Vía de exposición	Receptor expuesto
SUELO AFECTADO	No aplica	Suelo superficial	Ingestión y contacto dérmico	- Transeúnte on-site exterior (Esc. I) - Residente on-site exterior (Esc. IV) - Trabajador remediación on-site exterior (Esc. V)
	Erosión eólica	Aire	Inhalación de partículas	- Transeúnte on-site exterior (Esc. I) - Residente on-site exterior (Esc. IV) - Trabajador remediación on-site exterior (Esc. V)
	Erosión eólica y dispersión atmosférica	Aire	Inhalación de partículas	- Estudiante off-site exterior (Esc. II) - Residente off-site exterior (Esc. III) - Residente off-site exterior (Esc. VI)
	Migración de vapores	Aire	Inhalación de vapores en exterior	- Transeúnte on-site exterior (Esc. I) - Residente on-site exterior (Esc. IV) - Trabajador remediación on-site exterior (Esc. V)
	Migración de vapores	Aire	Inhalación de vapores en interior	- Residente on-site interior (Esc. IV)
	Migración de vapores y dispersión atmosférica	Aire	Inhalación de vapores en exterior	- Estudiante off-site exterior (Esc. II) - Residente off-site exterior (Esc. III) - Residente off-site exterior (Esc. VI)

Tabla 1 - Ejemplo de modelo conceptual esquemático

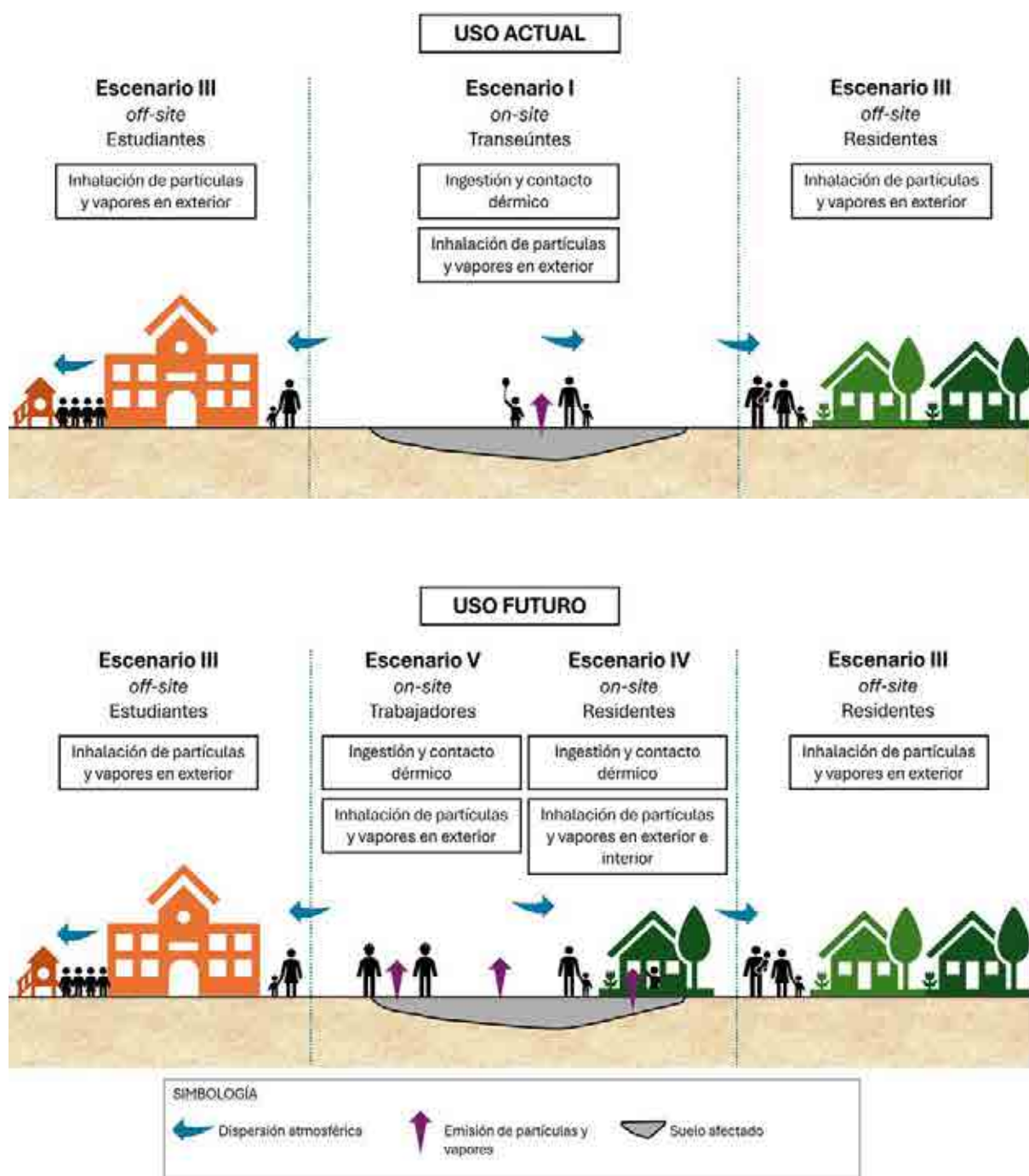


Figura 1 - Ejemplo de modelo conceptual gráfico



6 Fase I – Evaluación preliminar del sitio

El objetivo principal de una Fase I – Evaluación preliminar de sitio es recopilar información ambiental suficiente para poder determinar si existe potencial de contaminación en el sitio, y si es necesario realizar investigaciones adicionales y/o implementar medidas inmediatas. En este sentido, la investigación preliminar de sitio debiese:

- Identificar las estructuras en el sitio que pudiesen ser fuentes de contaminación.
- Identificar las matrices que pudiesen ser afectadas (suelo, sedimentos, aguas subterráneas, aguas superficiales, aire interior y aire ambiente).
- Identificar receptores humanos y ecológicos potenciales.
- En lo posible, determinar los contaminantes de interés y las zonas de posible contaminación.

Cabe notar que no es necesario delimitar la contaminación en esta fase, no obstante, es posible incluir muestreo limitado o mediciones en terreno, siempre que sea realizado utilizando una metodología correcta. En este caso, el muestreo o mediciones que se lleven a cabo se limitarán normalmente a las zonas en las que se hayan realizado actividades potencialmente contaminantes basado en el historial del sitio.

6.1 Esquema de trabajo para realización de Fase I



6.2 Metodología de trabajo de la Fase I

La Fase I puede ser realizada por el titular o dueño del predio, o por un tercero mediante una revisión de antecedentes. En este último caso, se recomienda incluir una inspección en terreno para complementar los datos. Esta etapa de evaluación implica la preparación de un Informe Preliminar de Situación (IPS) del sitio, que debiese contener los aspectos descritos en las siguientes secciones. Un formato sugerido para la presentación del IPS se incluye en la Parte 3 – Anexo 3 de esta Guía.

6.2.1 Identificación del sitio

La identificación del sitio debe proveer la singularización del terreno, con mención al rol de la propiedad, el nombre del sitio o de la empresa, si es aplicable; su dirección, región, provincia, comuna, y una localización precisa a través de coordenadas geográficas en UTM⁴ o grados, y en ambos casos, se debe identificar claramente las coordenadas este y norte, datum (WGS84 de preferencia) y huso, o la latitud y longitud (con al menos 5 decimales), respectivamente.

6.2.2 Uso de suelo³ actual y propuesto

En este punto se debiese identificar aspectos tales como:

- Descripción del uso o usos propuestos para el sitio (indicando densidad si es residencial).
- Zonificación actual del terreno según plan regulador u otros instrumentos de planificación territorial.
- Tipo de usuarios del sitio, por ejemplo, residentes (adultos y niños), trabajadores, etc.

6.2.3 Identificación de actividad potencialmente contaminantes

Es necesario especificar claramente todas las actividades potencialmente contaminantes (APC) que se desarrollan o se desarrollaron en el sitio, junto con los procesos asociados. Para un listado de estas, se debe referir a la Parte 3 – Anexo 2.

6.2.4 Historial del sitio

El historial del sitio debiese contener toda la información disponible que ayude a identificar la naturaleza y el alcance de una potencial contaminación (o ausencia de esta). Se recomienda que esto sea presentado como una lista cronológica de los usos del suelo, centrándose en usos industriales u otras actividades potencialmente contaminantes,

3 – En la Guía se utiliza el concepto "uso de suelo" para referirse a las actividades o usos deseables o permitidos en un terreno en particular, siguiendo la nomenclatura de los instrumentos de planificación territorial.

4 – Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator

e incluyendo además cualquier periodo durante el cual el uso del sitio sea desconocido o incierto. Cabe notar que es más recomendable incluir información anecdótica o supuesta (indicando esta característica), que dejar información en blanco. La cronología debiese incluir las fechas de instalación de la empresa, algún cambio sustancial en la configuración de esta, o transacción (venta, arriendo, etc.).

En caso de que se hayan desmantelado infraestructuras, el historial del sitio deberá indicar si se ha eliminado cualquier contenido potencialmente contaminante (por ejemplo, si tanques o tuberías de un sitio en particular se drenaron o bloquearon).

Adicionalmente, se deben tener en cuenta en el historial los usos de los terrenos adyacentes que puedan ser fuente o receptores de contaminación. La Tabla 2 a continuación muestra un ejemplo.

Fecha	Dueño	Usuario	Industria o uso	Estructuras	Cobertura	Comentario
1982	John Dulin	Compañía Minera del Oro	Refinería de oro	Estructuras mineras de refinería	Sitio cubierto por asfalto en un 70%	
1990	Peter Dulin	Compañía Minera del Oro	Inactivo	Estructuras mineras de refinería abandonadas	Sitio cubierto por asfalto en un 70%	Sitio inactivo
2012		Abandonado		Estructuras abandonadas afectadas por aluvión e inundaciones	Sitio cubierto por asfalto en un 40%	Informe de inspección
2015		Abandonado		Estructuras abandonadas y oxidadas	Sitio cubierto por asfalto en un 40%	Remoción de tanques de combustible sector norte del sitio

Las fuentes de información para recopilar un historial pueden incluir las siguientes (entre otras):

- Propietarios y usuarios actuales y anteriores, operadores o trabajadores del sitio y propiedades adyacentes
- Fotografías aéreas y terrestres actuales e históricas

Tabla 2 – Ejemplo de un historial de sitio

- Contactos anteriores con autoridades gubernamentales o consultores (auditorías medioambientales, avisos, etc.)
- Bibliografía local, incluidos los diarios
- Literatura técnica, incluidos permisos y planos de servicios y construcción, permisos de almacenamiento y manipulación de líquidos inflamables y combustibles
- Historial de denuncias e información de licencias medioambientales o permisos de residuos
- Mapas e informes de estudios geológicos
- Zonas de protección de aguas subterráneas/potables
- Derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas

6.2.5 Configuración actual e histórica

Se debe incluir información de la ubicación y características de las estructuras permanentes y semipermanentes, a nivel superficial y subterráneo; localización de redes de abastecimiento; superficie de la zona ocupada; material y estructura de construcción de edificios e instalaciones, zonas pavimentadas, drenajes, zanjas, entre otras. Esta información debiese presentarse para la configuración actual y también pasada, de conocerse.

6.2.6 Identificación y ubicación de productos base, intermedios y finales y residuales

Se debe proveer de una descripción general de los procesos realizados en el sitio, además de indicar los productos base, intermedios, finales y residuales en una tabla, y de ser posible proveyendo un diagrama de flujo. Esto incluye tipos de productos, estado físico, composición química, toxicidad, cantidades, procedencia, forma de almacenamiento o disposición, entre otras.

6.2.7 Descargas a suelos y aguas

De generarse emisiones y realizarse descargas a suelos y/o aguas en el sitio (o alrededores), se debe proveer información sobre la naturaleza de estas indicando la ubicación y cantidades (al alcantarillado, a cauce superficial o infiltración a napa subterránea).

6.2.8 Distancia a sector residencial o establecimientos educacionales más cercanos, identificación y ubicación

Se deben identificar las poblaciones, comunidades y establecimientos educacionales (incluyendo guarderías, jardines, etc.) más cercanas, además de su ubicación.

6.2.9 Uso y/o profundidad del agua subterránea (de conocerse)

Se debe, de conocerse, indicar usos del agua subterránea en el sitio o alrededores (en un radio de 500 m) además de la profundidad comprobada (o supuesta) del agua subterránea indicando la fuente de información. Para esto se pueden utilizar mapas hidrogeológicos, registros en la Dirección General de Aguas (DGA), o información local anecdótica.

6.2.10 Distancia a cuerpos de agua más cercanos, identificación y ubicación (u otras áreas de significancia ambiental)

Se deben identificar los cuerpos de agua superficiales más cercanos y su ubicación, además de otras áreas protegidas relevantes, tales como parques, monumentos naturales o humedales.

6.2.11 Entrevistas a personas que conozcan el terreno, ya sea vecinos, trabajadores o extrabajadores (recomendado)

De ser posible, se debe incluir entrevistas a vecinos, trabajadores, extrabajadores, u otras personas que posean información especialmente histórica sobre las actividades realizadas en el sitio, sus alrededores, o estructuras ya sea presentes actualmente, removidas, o de estado incierto.

6.2.12 Mediciones in-situ o muestreo exploratorio

Para la realización de mediciones in-situ durante el muestreo exploratorio, es crucial que los operadores de los equipos empleados estén plenamente informados sobre los límites de detección (LD) y las posibles interferencias analíticas e instrumentales asociadas a cada instrumento utilizado. Comprender estas especificaciones técnicas es esencial para evitar falsos positivos y para asegurar la integridad de los datos recolectados. Los protocolos de uso deben incluir directrices claras para calibración periódica y manejo de interferencias, así como procedimientos específicos para preparar y analizar las muestras de manera que se minimicen los efectos de cualquier variable que pueda distorsionar los resultados. Además, es fundamental que los resultados obtenidos a través de estas herramientas de screening sean verificados por análisis de laboratorio, empleando métodos confirmatorios que contrasten y validen los hallazgos in-situ. Esta rigurosidad en el proceso no solo mejora la confiabilidad de las mediciones realizadas en campo,

sino que también garantiza que las decisiones basadas en estos datos sean precisas y estén fundamentadas en un conocimiento profundo de las capacidades y limitaciones de las tecnologías utilizadas. Se pueden realizar mediciones in-situ utilizando, por ejemplo, detectores de fotoionización (PID) para compuestos orgánicos, o equipos portátiles de fluorescencia de rayos X (XRF). Al respecto, es importante mencionar, que estos equipos se deben calibrar y confirmar valores con algunos análisis de laboratorio (p.e. ICP Masa), además de ejecutar previamente un secado de las muestras.

Respecto a las medidas de protección del usuario del equipo debe cumplirse con lo establecido en el DS. 594/Minsal, referido al uso de dosímetro.

Adicional a lo anterior, también se puede realizar un muestreo de suelos muy acotado (en general no más de 10 muestras), enfocándose principalmente en aquellas áreas que presenten contaminación o impactos evidentes. Esta información permitirá tomar una decisión más acertada sobre la existencia o no de riesgo, y la necesidad de avanzar con la siguiente fase de evaluación.

En la Parte 3 – Anexo 4 de esta Guía se presenta mayor información con respecto a las metodologías de muestreo de suelos superficiales; y en la Parte 3 – Anexo 5, se incluyen recomendaciones para la realización de mediciones in-situ.

6.2.13 Identificación de contaminantes potenciales (recomendado)

De ser posible, se debe indicar los contaminantes potenciales asociados a las actividades realizadas en el sitio, los productos almacenados y los residuos generados. En este respecto, se provee una lista básica de los contaminantes generalmente asociados a actividades potencialmente contaminantes en la Parte 3 – Anexo 6 de esta Guía.

6.2.14 Determinación de fuente-ruta-receptor y desarrollo de modelo conceptual (recomendado)

De ser posible, utilizando la información recopilada, se debe desarrollar de manera gráfica un modelo conceptual detallando claramente los componentes de fuentes, rutas y receptores potenciales (ver Sección 5.2.3).

6.2.15 Presentación gráfica y georreferenciada de la información

La información recabada y analizada anteriormente deberá ser presentada de manera gráfica y georreferenciada en forma de mapas, planos, archivos de sistema de información geográfica (SIG), entre otros. Se estiman





como mínimo los siguientes requerimientos para la presentación de la información anterior:

- Un plano (o figura) general del sitio mostrando claramente los deslindes de la propiedad y su ubicación a escala regional/comunal.
- Un plano (o figura) particular mostrando sectores residenciales adyacentes, cuerpos de agua más cercanos (u otras áreas de importancia ambiental), pozos de monitoreo o abstracción, puntos de descarga.
- Un plano (o figura) particular mostrando la configuración del sitio indicando claramente la ubicación de cada estructura (galpones, tanques superficiales o enterrados). De haber información histórica del sitio, esta debiese presentarse en un mapa separado indicando el año al cual se refiere.

Además, se deberá incluir un registro fotográfico del sitio, que dé cuenta de la información recabada.

6.3 Preparación de informe preliminar de situación

El informe preliminar de situación (IPS) debe prepararse incluyendo toda la información detallada en las secciones anteriores. Esto incluye:

- Identificación del sitio
- Uso de suelo actual y propuesto
- Identificación de actividades potencialmente contaminantes
- Historial del sitio
- Configuración actual e histórica
- Identificación y ubicación de productos base, intermedios y finales y residuales
- Descargas a suelos y aguas
- Distancia a sector residencial o establecimientos educacionales más cercanos
- Uso y/o profundidad del agua subterránea (de conocerse)
- Distancia a cuerpos de agua más cercanos u otras áreas de significancia ambiental
- Entrevistas a personas que conozcan el terreno
- Mediciones in-situ o muestreo exploratorio
- Identificación de contaminantes potenciales (recomendado)
- Determinación de fuente-ruta-receptor y desarrollo de modelo conceptual (recomendado)
- Presentación gráfica y georreferenciada de la información

6.4 Evaluación de información y resultados posibles

Una vez compilada toda la información en el IPS, se debe evaluar el potencial de riesgo de afectación a receptores por contaminantes presentes en el sitio. Esto se realiza para cada aspecto de la cadena fuente-ruta-receptor por separado, y luego combinándolos idealmente con la ayuda de un modelo conceptual. A continuación, en la Tabla 3 se dan orientaciones de las preguntas que pudiesen ser planteadas para realizar la evaluación del potencial de riesgo.



Aspecto	Preguntas	Fuentes de información
FUENTE	¿Qué contaminantes están presentes en las sustancias o compuestos que se encuentran en el sitio (productos base, finales, residuos, u otros)?	La Parte 3 – Anexo 6 de esta Guía contiene una lista de contaminantes asociados a cada APC, los que en diferentes grados revisten de toxicidad. Un punto de partida sería revisar si efectivamente las actividades realizadas contemplan la generación o almacenamiento de sustancias o compuestos asociados a estos contaminantes. Para obtener esta información se puede utilizar información de fichas de seguridad, literatura, o datos provistos por el titular donde existan. Se debe considerar la información actual e histórica.
	¿Cuán tóxicos son estos contaminantes?	Esto puede evaluarse de manera preliminar revisando si los compuestos o elementos presentes se encuentran clasificados como “contaminantes tóxicos”, revisando documentos tales como: • Toxic and Priority Pollutants de la USEPA⁵ • 10 Chemicals of public concern de la OMS⁶ • DS148 Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos⁷. Es útil también en este sentido revisar los perfiles publicados por sustancia de la Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades (ATSDR)⁸.
	¿Son cancerígenos estos contaminantes?	Para estos efectos se recomienda revisar la lista de la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC)⁹.
	¿En qué forma se encuentran los contaminantes?	Esto puede ser en forma líquida o sólida, además de sus características generales (ej. es un líquido denso, si es volátil, si es material fino, etc.).

Tabla 3 – Aspectos a evaluar para el potencial de riesgo

5 - <https://www.epa.gov/eg/toxic-and-priority-pollutants-under-clean-water-act>

6 - <https://www.who.int/news-room/photo-story/photo-story-detail/10-chemicals-of-public-health-concern>

7 - <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=226458>

8 - <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiledocs/index.html>

9 - <https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications/>

Aspecto	Preguntas	Fuentes de información
RUTA	¿Cómo se encuentran contenidos los contaminantes?	Se debe evaluar la forma de almacenamiento de las sustancias (por ejemplo, en tanques enterrados o superficiales, piscinas), también el tamaño de estas estructuras, y cualquier otra característica relevante.
	¿Cuán segura es la contención del contaminante?	Para esto se debe evaluar la antigüedad del tanque o contenedor, la presencia de pretilos, registros de mantención, entre otros factores.
	¿Existe cobertura del suelo en el sitio? ¿De qué tipo?	Se debe evaluar si existe cobertura, y de ser así, si es continua en el sitio, su condición y mantenimiento (ej. si tiene grietas) y su antigüedad. Además, se debe notar el material de la cobertura, y su espesor (de conocerse).
	¿Cuál es el sentido general de la pendiente en el sitio?	Se debe considerar la dirección del drenaje natural o diseñado, vías preferentes que pudiesen existir (canaletas u otras), además identificar si existen sectores donde pudiese existir acumulación de aguas.
	¿Existe potencial de transporte del contaminante por viento, lluvia, crecidas de cuerpos de agua?	Para esto se puede revisar información meteorológica y mapas de riesgo naturales.
	¿Cuán cerca está el sitio de cursos o cuerpos de agua?	Se puede revisar mapas generales del área además de la información del IPS.
	¿Cuál es la profundidad del agua subterránea?	Si no se dispone de información en el IPS, se puede revisar datos de pozos registrados en la DGA, otros estudios realizados en la cercanía, y por último la altura geográfica donde haya cursos de agua cercanos (que puede dar una indicación general).

Aspecto	Preguntas	Fuentes de información
RUTA	¿Cuál es el uso de las aguas?	Esto se puede revisar en la información de los pozos de la DGA, o si existen sistemas de Agua Potable Rural (APR) cercanos al sitio, o si es un área donde se realiza agricultura.
	¿Existe potencial de generación de vapores por el contaminante?	Algunos contaminantes orgánicos son especialmente volátiles, y presentan riesgos por inhalación de vapores especialmente en espacios cerrados. En general esto corresponde a solventes, hidrocarburos de cadena corta, mercurio (se deben revisar las características del contaminante ver aspecto “Fuente” de la tabla).
RECEPTOR	¿Cuál es la distancia a zonas urbanas?	Se debe revisar la distancia a zonas habitadas utilizando imágenes aéreas y mapas.
	¿Cuál es el sentido general de la pendiente en el sitio?	Se debe considerar la dirección del drenaje natural o diseñado, vías preferentes que pudiesen existir (canaletas u otras), además identificar si existen sectores donde pudiese existir acumulación de aguas.
	¿Existen sectores con población sensible cerca del sitio?	Se debe evaluar la cercanía a Centros de Atención de Salud (CESFAM, hospitales de mediana y alta complejidad, CECOF, posta rurales, clínicas, centros médicos, centros de imagenología, centros oncológicos, etc.), establecimientos educacionales, hospicios, establecimientos de larga estadía para adultos mayores (ELEM), etc.
	¿Existen sectores socioeconómicamente vulnerables cerca del sitio?	Se debe evaluar en particular la presencia de campamentos en las cercanías, dado que pueden tener condiciones de precariedad que generen situaciones de exposición mayor que las zonas más urbanizadas, como calles sin pavimentar, polvo, etc.
	¿Existen áreas protegidas o humedales cerca del sitio?	Para esto es útil utilizar el sistema SIMBIO ¹⁰ del MMA, el cual cuenta con información actualizada sobre áreas protegidas.

10 - <https://simbio.mma.gob.cl>

La determinación de riesgo (potencial de configuración de la cadena fuente-ruta-receptor) se realiza en consideración de la información recopilada en la Fase I y las preguntas planteadas anteriormente. En este sentido existen cuatro resultados posibles no excluyentes entre sí que puede retornar esta evaluación:

- **El sitio debe pasar a una Fase II.** En caso de que la evaluación indique la configuración actual o futura de la cadena fuente-ruta-receptor, o la ausencia de información no permita descartar esta hipótesis (principio precautorio), se debe realizar una evaluación Fase II. Un ejemplo de lo primero pudiese corresponder una APC que contemple el almacenamiento de sustancias tóxicas en contenedores antiguos, en un terreno sin cobertura y en un sector donde el agua subterránea sea utilizada para fines de consumo.

- **El sitio no debe pasar a Fase II.** La evaluación no indica el establecimiento de la cadena fuente-ruta receptor, sin embargo, en consideración del desarrollo actual de una APC, se recomendaría la actualización de esta en un periodo no mayor a 5 años, o antes si cambian las condiciones del sitio. Un ejemplo pudiese ser una APC alejada de sectores residenciales y con sus debidos controles ambientales.

- **Se deben tomar medidas de control inmediatas.** Esto en el caso de que exista la posibilidad de un riesgo inmediato, o que una pequeña variación en las condiciones actuales presuponga la configuración de un riesgo. Estas medidas pueden corresponder a cercado, señalética, cobertura temporal, entre otras. Cabe notar que en este caso también se debiese pasar a la realización de una Fase II de evaluación. Como ejemplo, se podría indicar un relave abandonado donde no se haya cuantificado el riesgo, pero la información recopilada indique que este es transitado regularmente por personas locales. En la Parte 3 – Anexo 7 de esta Guía, se presenta mayor información con respecto a las medidas de control inmediatas en sitios.

- **Se debe realizar monitoreo de matrices ambientales de manera continua.** Lo anterior en caso de que no se indique un riesgo inmediato, pero sí que las propias operaciones realizadas en el terreno pudiesen en algún momento causar un evento de contaminación. Lo anterior puede corresponder a una operación minera con proceso de chancado o una estación de servicio en un sector de uso de agua subterránea para fines de riego o consumo. Independiente de las condiciones, la Autoridad Sanitaria es responsable de autorizar fuentes de agua para consumo humano, por lo que si el agua se quiere usar para consumo, se debe presentar una solicitud ante la SEREMI de Salud respectiva. En la Parte 3 – Anexo 8 de esta Guía, se presenta mayor información con respecto al monitoreo de matrices ambientales en sitios.

7 Fase II – Caracterización del sitio y evaluación confirmatoria

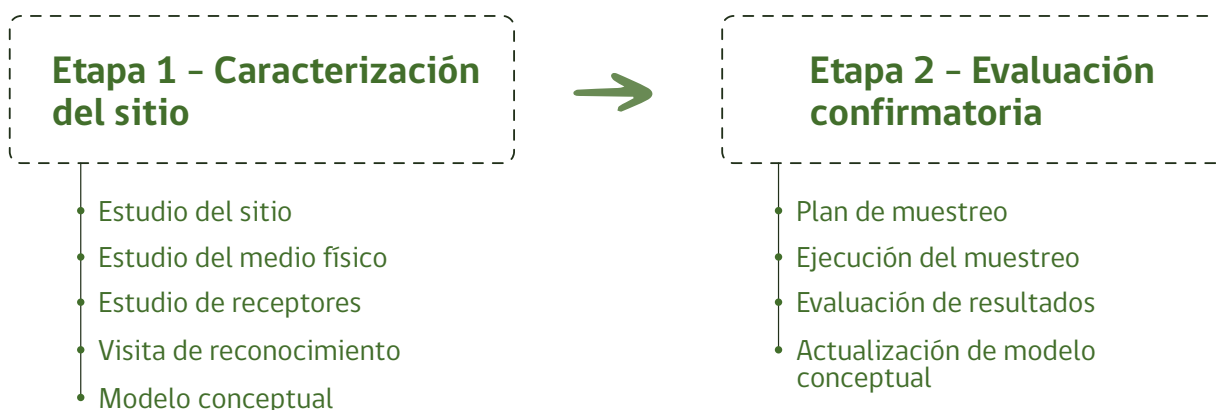
Es necesario realizar una investigación Fase II cuando la evaluación del IPS indica que existe, o es probable que exista contaminación, y/o la información disponible es insuficiente para poder caracterizarla y diseñar medidas de manejo que reduzcan el riesgo hasta niveles aceptables. En este sentido, el objetivo de la Fase II es llenar los vacíos planteados en la Fase I, para permitir evaluar de manera integral si se está configurando la cadena fuente-ruta-receptor.

Esta fase incluye en su primera etapa ("Caracterización del sitio") una evaluación detallada de las condiciones del sitio y su entorno, para culminar con el desarrollo de un modelo conceptual. Luego, en una segunda etapa ("Evaluación confirmatoria"), se incluye el muestreo de suelos y otras matrices relevantes, la comparación con normativa de referencia, y finalmente un modelo conceptual actualizado. A diferencia de la Fase I, la información para el desarrollo de la investigación debe ser colectado por un profesional independiente. En la Parte 3 - Anexo 9 de esta Guía se indican recomendaciones para la elección de profesionales. En este sentido, un estudio Fase II debe identificar la naturaleza de la contaminación (de existir) y delimitar su extensión lateral y vertical hasta un grado suficiente para que se pueda llevar a cabo una evaluación de los peligros potenciales, e idealmente, proporcionar las bases para el desarrollo de una estrategia adecuada para la remediación o manejo del sitio.

7.1 Esquema de trabajo para realización de Fase II

La metodología para el desarrollo de la Fase II incluye dos etapas:

- **Etapas 1:** Caracterización del sitio (estudio del sitio, estudio del medio físico, estudio de receptores, visita de reconocimiento, modelo conceptual)
- **Etapas 2:** Evaluación confirmatoria (plan de muestreo, ejecución del muestreo, evaluación de resultados, actualización de modelo conceptual)



7.2 Etapa 1 - Caracterización del sitio

La primera etapa contempla la compilación de los antecedentes existentes y el levantamiento de información adicional, con la finalidad de determinar si puede descartarse el riesgo o se debe seguir con el proceso de investigación. En este sentido, esta etapa apunta a una revisión de los antecedentes de la Fase I y la colección de nueva información para llenar vacíos donde estos existiesen. Dada la complejidad de la realización de la Fase II, se recomienda esta sea realizada por consultores especializados. Lo anterior contempla tres componentes de gabinete, que corresponden a estudio del sitio, estudio de medio físico y estudio de receptores (capturando información específica relativa a la cadena fuente-ruta-receptor, respectivamente), además de una visita de reconocimiento. Una vez que se ha recopilado esta información, se debe compilar un modelo conceptual con la finalidad de evaluar el potencial de riesgo y configuración de la cadena fuente-ruta-receptor.

En las siguientes secciones se detallan los componentes contemplados por esta etapa.

7.2.1 Estudio del sitio

En esta actividad se debe resumir la información relevante del IPS, evaluando de manera objetiva los antecedentes indicados y completando antecedentes de actividades productivas, evolución y situación del sector que permita la detección de cambios en el uso del suelo; permisos/licencias de ejecución de actividades económicas; uso de suelo de acuerdo a instrumentos de planificación territorial; propietarios anteriores y actuales; características y uso del suelo aledaño; entre otros. En términos generales lo anterior sirve para:

- Confirmar los indicios previos que hacen sospechar la presencia de contaminantes.

- Acotar las zonas a investigar para dirigir de forma más certera el diseño del Plan de Muestreo de la etapa siguiente.

- Definir, en la medida de lo posible, la naturaleza de la contaminación, antecedentes que permiten definir los contaminantes a analizar en el muestreo de la etapa siguiente.

Se debe prestar especial atención a la cronología del sitio realizando un análisis fotográfico histórico (de ser posible) y proveer de una fotografía aérea actualizada identificando áreas del emplazamiento.

Se debe revisar, además, antecedentes adicionales sobre incidentes ambientales (derrames, vertidos, accidentes, denuncias, inspecciones anteriores, entre otros) en el sitio y alrededores que puedan estar afectando al sitio. Respecto a esto, se pueden consultar los archivos municipales, antecedentes de las Secretarías Regionales del Ministerio de Salud y del Ministerio del Medio Ambiente, entre otras. Adicionalmente, de existir, se debe incluir la información de estudios ambientales previos o mediciones fisicoquímicas realizadas en el sitio.

Para la realización de esta etapa se puede recurrir a la información proveniente del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), los servicios cartográficos y la documentación propia de la empresa y de las administraciones pasadas y actuales.

7.2.2 Estudio del medio físico

La integración efectiva de la información del estudio del sitio en el muestreo de matrices y en el desarrollo del modelo conceptual es crucial para la evaluación precisa de un sitio contaminado. La información que debe ser considerada en esta actividad incluye:

- Suelos y geología: tipos de suelos, contexto geológico regional y litología esperada (a partir de fuentes bibliográficas)

- Climatología local: régimen de lluvias, pluviometría, dirección predominante del viento

- Hidrología: cursos de agua cercanos, uso y dirección de flujo natural en el sitio

- Hidrogeología: profundidad del agua subterránea, tipo de acuífero, parámetros hidrogeológicos básicos (permeabilidad, gradiente hidráulico, dirección de flujo, transmisividad, entre otros), identificación de tomas de agua (pozos, piezómetros o sondeos en el sitio y/o alrededores, usos, otros puntos de agua de interés), relaciones entre las aguas subterráneas y aguas superficiales.

- Vías de acceso y conectividad vial
- Riesgos de desastres y amenazas naturales (de existir)

7.2.3 Estudio de receptores

Esta actividad corresponde a la caracterización de los receptores potencialmente expuestos dentro del límite del sitio y de aquellos ubicados en las cercanías que pudieran verse afectados. Las características principales que pueden influir en la exposición y sus consecuencias son:

- Localización: Posición relativa de la población con respecto a la posible fuente de contaminación y a la dirección de los desplazamientos más probables de los contaminantes.
- Presencia de subpoblaciones sensibles: Grupos poblacionales más susceptibles de sufrir un daño al quedar expuestos a un determinado contaminante, debido a que poseen una mayor sensibilidad, o presentan un patrón de comportamiento que puede dar lugar a una mayor exposición.
- Patrones de actividad de los receptores: Las exposiciones están asociadas a los patrones de actividad de los receptores y están determinadas por el tipo de uso del suelo en el escenario de exposición. Esto determina la intensidad, frecuencia y duración de las exposiciones.
- Uso de suelo del sitio y alrededores: extracción de aguas subterráneas o superficiales para diversos usos, presencia de huertos, gallineros u otras fuentes de alimentación.

7.2.4 Visita de reconocimiento

La visita tiene por objetivo revisar con mayor detalle algunas características y condiciones del sitio de manera independiente, y abordar los siguientes aspectos: (i) hipótesis sobre la presencia y distribución de la contaminación en las diferentes matrices ambientales y (ii) datos sobre las características relevantes del medio físico en donde se encuentra.

La visita de reconocimiento permitirá actualizar, verificar, o complementar la información existente (por ejemplo, fuente de agua potable, presencia de pozos in situ, fecha de conexión al alcantarillado, historial de vertidos y fugas, disposiciones para la eliminación de residuos líquidos y sólidos, etc.) y es una oportunidad para efectuar entrevistas con el propietario del sitio, trabajadores más antiguos, o con propietarios o trabajadores de sitios vecinos. Se recomienda también en esta etapa identificar otros actores de interés que puedan tener información sobre el sitio y que, idealmente, puedan participar en la visita. En la Parte 3 – Anexo 10 de esta Guía de presentan lineamientos de participación de actores relevantes. Adicionalmente, si se anticipa que se deberá pasar a la etapa



siguiente (Evaluación confirmatoria), se deben revisar aspectos de la logística del evento de muestreo. Esto incluye el determinar facilidad de acceso, horario de operación, contactos para facilitar el muestreo, requerimientos de seguridad del sitio, y de manera importante, la presencia de potenciales servicios enterrados en las áreas a muestrear. Para revisar esto último se deben solicitar y revisar planos de servicios del sitio, hablar con trabajadores con experiencia, e incluso a veces es conveniente contratar los servicios de una empresa que realice análisis geofísicos con, por ejemplo, un radar de penetración terrestre (GPR).

7.2.5 Desarrollo de modelo conceptual e informe Fase II - Etapa 1

Posterior a la visita de reconocimiento, se debe desarrollar de manera gráfica un modelo conceptual detallando claramente los componentes de fuentes, rutas de exposición y receptores potenciales, actualizando el modelo desarrollado durante la Fase I.

En base a la caracterización del sitio se definirá, de acuerdo con los antecedentes evaluados durante el estudio, la necesidad de proceder a la siguiente etapa de investigación o si por el contrario puede darse por finalizado el proceso. La justificación de la decisión adoptada debe consignarse en un documento, que debe incluir un resumen de todos los trabajos llevados a cabo durante el proceso.

Es importante elaborar un informe conclusivo en el que quede definido si existen antecedentes que permitan seguir sosteniendo la hipótesis sobre la presencia de fuente(s), ruta(s) y receptores en el SPPC, es decir, que permitan suponer la existencia de un posible riesgo.

7.2.6 Estructura y presentación de informe de Fase II – Caracterización del sitio

El informe de Fase II – Caracterización del sitio debiese incluir los siguientes componentes:

- Introducción, objetivos y alcances
- Caracterización del sitio
 - Estudio del sitio
 - Estudio del medio físico
 - Estudio de receptores
 - Modelo conceptual
- Conclusiones y recomendaciones

7.3 Etapa 2 – Evaluación confirmatoria

El objetivo es tener la suficiente información para poder evaluar si continuar con las siguientes etapas y pasar al proceso de remediación o manejo, o detener el proceso de evaluación al no identificarse la existencia de riesgo. Esta etapa aborda la evaluación del sitio considerando un muestreo y análisis de matrices ambientales relevantes y la comparación con normativa para determinar la existencia de contaminación y riesgo.

7.3.1 Plan de muestreo

Un plan de muestreo correcto desempeña un papel fundamental a la hora de garantizar que los datos recopilados sean representativos y proporcionen una base sólida para la toma de decisiones sobre la evaluación del sitio. Para cumplir este objetivo, un plan de muestreo debiese incluir por lo general lo siguiente:

- Revisión de antecedentes (incluyendo modelo conceptual) y definición de objetivos, además de planos y diagramas donde sean relevantes.
- Definición de contaminantes de interés de acuerdo a modelo conceptual
- Definición de matrices ambientales a muestrear (suelo, sedimentos, aguas subterráneas, vapores, biota, aguas superficiales, polvos depositados, aire interior, aire exterior)
- Definición de estrategia de muestreo de acuerdo a modelo conceptual
- Densidad y ubicación de muestras
- Definición de metodología de muestreo
- Colección de muestras background
- Análisis de laboratorio

- Procedimientos de control y aseguramiento de calidad
- Procedimientos de seguridad durante el muestreo
- Cronograma y responsables

El alcance y el nivel de detalle del Plan de muestreo variará en función de las condiciones específicas del sitio. El plan debe ser flexible a modo de acomodar cambios durante la investigación por vacíos detectados en terreno, como la ubicación específica de servicios subterráneos (que pueden actuar como vías preferentes para compuestos orgánicos volátiles, gases o vapores, o un peligro físico), o información que sugiera contaminación más extendida de lo esperado (por ejemplo, existencia de tanques enterrados, o sectores con relleno no contemplados anteriormente).

7.3.1.1 Revisión de antecedentes (incluyendo modelo conceptual) y definición de objetivos

Se debe incluir datos básicos del sitio (ubicación, APC realizada, ubicación de estructuras potencialmente contaminantes, datos históricos ambientales, etc.) realizando una revisión crítica de la fiabilidad y utilidad de los datos. Además, se deben detallar los vacíos existentes y establecer objetivos para el evento de muestreo considerando el propósito final de la actualización del modelo conceptual del sitio.

7.3.1.2 Definición de contaminantes de interés de acuerdo a modelo conceptual

Los contaminantes de interés deben ser definidos a priori en respuesta al modelo conceptual y a vacíos identificados durante la fase de preparación de las labores de muestreo. Cabe notar que como mínimo se deben muestrear los contaminantes indicados para cada APC en la Parte 3 – Anexo 6 de esta Guía, a no ser que se justifique robustamente su exclusión en el Plan de muestreo.

7.3.1.3 Definición de matrices ambientales a muestrear

En cuanto a las matrices ambientales a muestrear, se debe contemplar como mínimo naturalmente el suelo y en algunos casos aguas subterráneas o superficiales. De manera general, la necesidad de realizar evaluación de otras matrices se genera cuando la contaminación de suelo tiene el potencial de afectar (o está actualmente afectando) a una de estas matrices, y de este modo se pueda estarse configurando una situación de riesgo para un receptor final (ya sea en cuanto a salud humana o medio ambiente). El caso inverso, también pudiese ser posible, en cuanto a que la contaminación presente en otra matriz tuviese la capacidad potencial de afectar el estado del suelo. Casos específicos de esta situación son variados e incluyen, por ejemplo, tanques enterrados en el suelo que estén filtrando compuestos al suelo y luego a las aguas

subterráneas; o un tranque de relaves que se rebalse y contamine suelos adyacentes.

Lo anterior debe evaluarse según el modelo conceptual de sitio, en particular de acuerdo a la información recopilada en terreno. A modo de ejemplo, se provee información ilustrativa de algunos casos donde podría (de ser confirmado por el modelo conceptual) ser conveniente el muestreo de otras matrices.

Matriz	Factor de riesgo
Aguas subterráneas	Tanques enterrados
	Suelo de textura gruesa y fuente contaminante en estado líquido
	Aguas subterráneas a menos de 5 m de profundidad
	Aguas subterráneas cercanas utilizadas para fines de consumo humano, riego, bebida de animales, recreacional, o que descarguen en un curso de agua cercano
Aguas superficiales y/o sedimentos	Posibilidad de transporte superficial de contaminantes a curso de agua cercano
	Posibilidad de transporte por vía eólica de contaminantes a curso de agua cercano
	Descargas a cuerpos de agua superficiales
Vapores	Compuestos volátiles ej. solventes (PCE, TCE, etc.), mercurio, e hidrocarburos de fracciones menores a C ₁₀ ¹¹ , donde haya riesgo de inhalación de estos en espacios cerrados o semi cerrados
Material particulado sedimentable o polvo superficial	Contaminantes asociados a partículas finas con posibilidad de dispersión eólica

7.3.1.4 Definición de estrategia de muestreo de acuerdo a modelo conceptual

Existe una multitud de estrategias de muestreo discutidas en la literatura, sin embargo, en general estas se pueden agrupar, a grandes rasgos, en dos tipos: (i) muestreo dirigido y (ii) muestreo probabilístico. El primero implica tomar una decisión de dónde coleccionar las muestras y, por lo tanto, sus resultados dependen de contar con una historia y características del sitio claras, y que el muestreo y su interpretación sea realizado

Tabla 4 - Muestreo de matrices

11 - Cabe notar que existen compuestos volátiles con mayor número de carbonos, por lo que esto únicamente es una indicación general

por personal con experiencia. Por otro lado, el muestreo probabilístico implica que las diferentes unidades de la población en estudio tienen la misma probabilidad de ser seleccionadas y, por lo tanto, de aplicarse adecuadamente este tipo de muestreo, los datos resultan imparciales e independientes. Por otro lado, el muestreo dirigido implica tomar una decisión de dónde coleccionar las muestras y, por lo tanto, sus resultados dependen de contar con una historia y características del sitio claras, y que el muestreo y su interpretación sea realizado por personal con experiencia.

Las estrategias recomendadas basadas en los tipos de muestreo indicados son las siguientes:

Muestreo a criterio (dirigido)

La ubicación de los puntos de muestreo bajo esta estrategia se selecciona en base a la distribución probable de la contaminación en el sitio de acuerdo al modelo conceptual. Se trata de un método de muestreo eficaz que utiliza el historial y las observaciones del lugar, pero tiene un sesgo estadístico. La calidad de los datos resultantes depende en parte de la experiencia y el criterio del consultor, así como de la información disponible sobre el sitio. El muestreo a criterio también puede dar lugar a una distribución poco equilibrada de las ubicaciones de muestreo, en cuyo caso se necesitarían puntos adicionales para abarcar todo el sitio. Este muestreo no debiese utilizarse como único método para la caracterización de un terreno, a menos que se disponga de documentación detallada y precisa sobre la historia y la información del sitio que pueda respaldar la decisión.

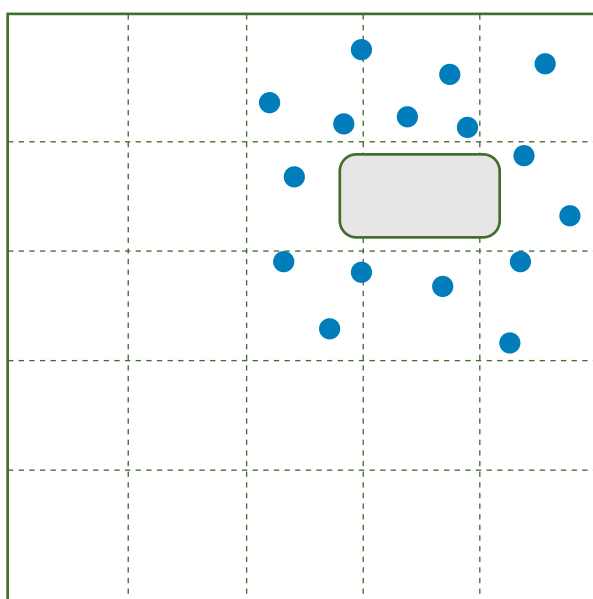
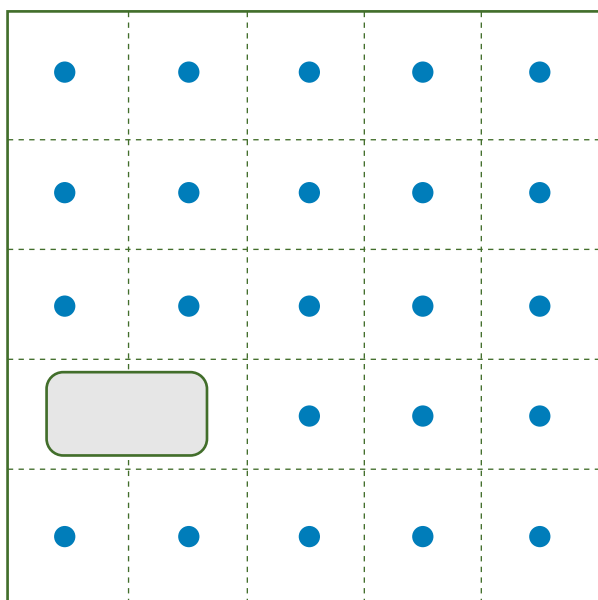


Figura 2 - Ejemplo de muestreo a criterio. Los puntos azules indican las ubicaciones de muestreo y el rectángulo gris indica la fuente de contaminación

Muestreo sistemático (probabilístico)

El muestreo sistemático es una estrategia probabilística que consiste en seleccionar puntos a intervalos regulares sobre un área, por ejemplo, en intersecciones de cuadrículas. El muestreo sistemático no genera grupos de puntos de muestreo, sino que garantiza una cobertura uniforme del área, lo que hace que este enfoque sea ideal para su caracterización. El muestreo sistemático es estadísticamente insesgado siempre que las coordenadas de la primera ubicación de muestreo se determinen aleatoriamente. Ejemplos de cuadrículas sistemáticas son las cuadradas, las cuadradas desplazadas, las rectangulares, las triangulares y las radiales.

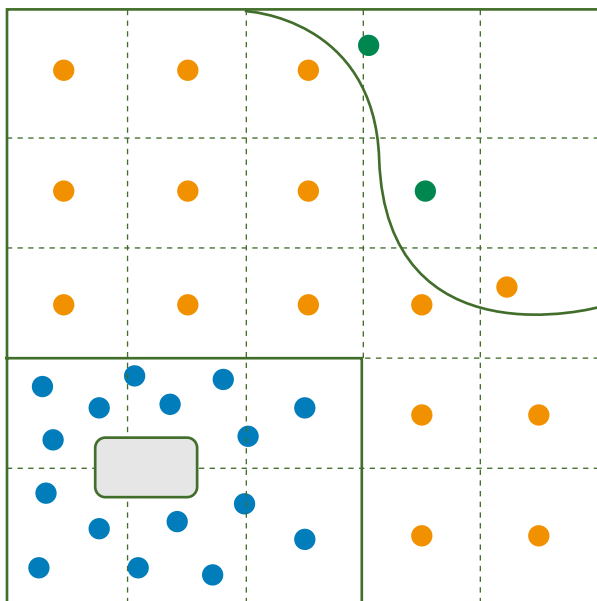
En la evaluación de la contaminación de un sitio, el muestreo sistemático suele realizarse sobre una cuadrícula, aunque los transectos pueden ser apropiados cuando se evalúan características lineales (como tuberías).



Muestreo estratificado (dirigido y/o probabilístico)

El muestreo estratificado puede ser apropiado para la investigación de sitios de gran extensión, con diferentes usos, características y distribuciones complejas de contaminantes. Con este enfoque, el sitio se divide en varias subáreas que no se solapan, según las características geológicas y geográficas, la naturaleza de la contaminación, el uso anterior del sitio u otros factores relevantes. Entonces, cada subárea puede tratarse como una zona individual a la que se aplican diferentes patrones y densidades de muestreo. Por ejemplo, una zona puede requerir una estrategia de muestreo a criterio, mientras que otra, una estrategia sistemática. El muestreo estratificado requiere un conocimiento previo fiable del lugar.

Figura 3 - Ejemplo de muestreo sistemático. Los puntos azules indican las ubicaciones de muestreo y el rectángulo gris indica la fuente de contaminación



7.3.1.5 Densidad de muestreo

La cantidad de puntos de muestreo dependerá de los objetivos del estudio, la información preliminar o histórica, del tamaño del sitio, las condiciones del terreno, complejidad y variedad de situaciones particulares del área de estudio y del presupuesto disponible. Cabe notar que una mayor densidad mejorará la caracterización del sitio, lo que puede a su vez resultar en menores costos de remediación (al delimitar con mayor precisión el área afectada).

De cualquier forma, para la definición de la densidad de muestreo (cantidad de puntos de muestreo por unidad de superficie) correspondiente a una Fase II se debiese cumplir como mínimo con la cantidad de puntos indicada en el estándar chileno NCh3400, a no ser que se justifique de manera robusta la toma de un número menor. El número de puntos de muestreo mínimo que se debiese considerar dependiendo del área de estudio se presenta en la Tabla 5.

Cabe notar que, para cumplir con el número de puntos de muestreo, se podría incluir aquellos de estudios anteriores, siempre y cuando estos sean considerados válidos, vigentes y representativos.

Figura 4 - Ejemplo de muestreo estratificado. Los puntos indican las ubicaciones de muestreo: en azul, densidad alta y muestreo a criterio; en naranja, densidad media y muestreo sistemático; en verde, densidad baja y muestreo sistemático. El rectángulo gris indica la fuente de contaminación

Área de estudio en m² (ha)	Número de puntos de muestreo en total
1.000 (0,1)	4
5.000 (0,5)	6
10.000 (1)	9
20.000 (2)	15
30.000 (3)	19
40.000 (4)	21
50.000 (5)	23
100.000 (10)	30
150.000 (15)	33
200.000 (20)	36
250.000 (25)	38
300.000 (30)	40
400.000 (40)	42
500.000 (50)	44
1.000.000 (100)	50

Fuente: Norma chilena NCh 3400/1 Calidad del suelo – Muestreo – Parte 1: Directrices para el diseño de los programas de muestreo (2016)

Para áreas mayores a 100 hectáreas, el número mínimo de puntos de muestreo se debiese determinar con la ecuación siguiente:

$$N=0,1X+40$$

Donde:

N = número mínimo de puntos de muestreo

X = área de estudio, expresada en hectáreas (ha)

Cabe notar que, en general, el área de estudio debe corresponder a la delimitación legal del terreno, salvo en casos donde se pueda justificar que la APC no ha afectado toda la extensión del terreno. Esto es especialmente aplicable en terrenos de gran extensión, como por ejemplo faenas mineras, donde el terreno concesionado puede ser muy grande, pero el área de procesamiento donde se encuentra la potencial contaminación es menor.

En general, también debiese excluirse del área de estudio, para efectos de la definición de la densidad de muestreo, aquellas superficies que no pueden ser muestreadas, tales como edificaciones, calles u otras

Tabla 5 - Número de puntos de muestreo según área

estructuras e instalaciones. En estos casos, entonces, se debe definir un área de estudio donde se realizará el muestreo, que no corresponde necesariamente al terreno en su totalidad. Cabe notar que la excepción a esto son edificaciones o sectores pavimentados donde sí se pueda realizar muestreo (rompiendo la cobertura) y este sea conveniente por potencial afectación de suelos. Es importante considerar, que ningún material es, dado el suficiente tiempo y/o cambio en condiciones, completamente impermeable (esto incluso aplica a concreto, geotextiles, etc.).

Existen otras indicaciones para definir la cantidad de muestras dependiendo del volumen, lo que aplicaría en el caso de acopios o pilas. Por ejemplo, la “Guía de muestreo y de análisis químicos, para la investigación confirmatoria y evaluación de riesgo en suelos/sitios con presencia de contaminantes” del Ministerio del Medio Ambiente y EULA (2013), recomienda lo siguiente:

Volumen de suelo (m ³)	Número de muestras
< 25 y 25 – 50	3
75	4
100	5
125	7
150	8
175	9
200	10

Fuente: Guía de muestreo y de análisis químicos, para la investigación confirmatoria y evaluación de riesgo en suelos/sitios con presencia de contaminantes (Ministerio del Medio Ambiente – EULA, 2013)

Además, se indica que para volúmenes mayores a 200 m³, una opción es tomar una muestra cada 25m³. Para volúmenes superiores a 2500 m³, el mínimo de muestras no debería ser menor a 1 muestra cada 250 m³.

7.3.1.6 Ubicación de puntos de muestreo y tipo de muestras

El Plan de muestreo debe indicar claramente en un mapa la ubicación aproximada de los puntos de muestreo, de acuerdo a la estrategia de muestreo definida anteriormente. Cabe notar que la ubicación indicada propuesta en el plan de muestreo podría variar levemente, debido a temas logísticos y a hallazgos en terreno.

Tabla 6 - Número de muestras según volumen

Además, el plan de muestreo debe indicar el tipo de muestras que se colectarán en cada punto, es decir, si serán superficiales/en profundidad (y la profundidad estimada que se pretende alcanzar) y simples/compuestas.

La profundidad de las muestras dependerá de lo establecido en el modelo conceptual, es decir, considerando la fuente de contaminación, las posibles rutas y receptores potenciales. Por ejemplo, si existen residuos o instalaciones enterradas, se deberán tomar muestras hasta una profundidad mayor hasta la que se encuentren estas e idealmente hasta alcanzar suelo natural o visualmente no afectado; si el transporte de los contaminantes fuese por dispersión atmosférica, sería apropiado un muestreo superficial, no obstante, se recomienda obtener algunas muestras a una profundidad mayor, a modo de verificación de la hipótesis.

En general, las muestras superficiales consideran los primeros 20 cm. Con respecto a las muestras en profundidad, se recomienda que estas sean obtenidas en un intervalo no mayor a 50 cm, e idealmente coleccionar muestras de los distintos estratos observados del perfil. Lo anterior podría variar justificadamente de acuerdo al modelo conceptual específico del sitio.

En cuanto la composición de las muestras, estas podrían ser puntuales o compuestas. Las muestras compuestas representan el promedio de un material muestreado, y se usan a veces para minimizar los costos del muestreo y analítica, generalmente son por cuarte y se preparan con muestras secas al aire (t° no superior a 40°C). En general, se recomiendan únicamente para la caracterización de materiales homogéneos de gran tamaño (ej. acopios), con características similares de tamaño de partícula y origen, ya que en materiales heterogéneos esto podría resultar en el enmascaramiento por dilución de puntos con concentraciones elevadas ("hotspots"). En este sentido, las muestras compuestas, cuando son tomadas correctamente, representan el promedio de las concentraciones del material muestreado. Las muestras compuestas en general no deben ser usadas en una Fase II, salvo casos justificados, como tampoco en procesos de delimitación de contaminación (ver Sección 8.1), validación de remediación (ver Parte 2 – Sección 7), o en suelos de textura arcillosa. Las muestras arcillosas requieren un manejo cuidadoso para garantizar que los análisis reflejen con precisión las condiciones del sitio. Debido a las características particulares de la arcilla, como su cohesión y capacidad de retención de agua, es crucial seguir un protocolo de laboratorio detallado para preparar estas muestras para su análisis:

- **Secado de muestras:** Todas las muestras arcillosas deben ser secadas antes de su procesamiento para eliminar el exceso de humedad que podría complicar la homogeneización y el análisis. El secado debe realizarse a temperatura ambiente o utilizando estufas de aire forzado, cuidando de no exceder los 37°C para evitar alteraciones en la composición química de las muestras.

- **Homogeneización:** Una vez secas, las muestras deben ser homogeneizadas de manera meticulosa. La homogeneización asegura que cualquier submuestra tomada para análisis sea representativa del conjunto original. Esto es esencial para obtener resultados de análisis fiables y consistentes.

- **Conformación de muestra compuesta:** La muestra compuesta se forma agregando partes iguales de cada submuestra. Este proceso debe llevarse a cabo en un entorno controlado para asegurar la uniformidad de la mezcla.

- **Cuarteo:** Después de formar la muestra compuesta, el siguiente paso es el cuarteo, que implica dividir esta muestra compuesta en partes más pequeñas pero igualmente representativas. Este proceso debe realizarse bajo condiciones que aseguren la integridad de las muestras, utilizando equipos adecuados y siguiendo procedimientos estandarizados para evitar la contaminación cruzada o la pérdida de material.

Por otra parte, las muestras puntuales corresponden a la colección de material de un punto singular determinado por una coordenada espacial, a un intervalo de profundidad determinada, con ambos datos registrados debidamente en terreno e indicados en la cadena de custodia para análisis posterior.

7.3.1.7 Definición de metodología de muestreo

Se debe definir en el Plan la metodología de muestreo más apropiada, es decir, el método adecuado para la colección de las muestras, dependiendo del modelo conceptual y las definiciones establecidas previamente (estrategia de muestreo, densidad y ubicación de puntos y tipos de muestras), de las características del sitio y de temas logísticos.

En este sentido, se debe considerar las ventajas y desventajas de cada metodología de muestreo (por ejemplo, manual o con maquinaria, dependiendo de la profundidad a la que se debe llegar; o qué tipo de maquinaria, en el caso de muestreo en profundidad). Por ejemplo, si se requiere muestreo a una profundidad mayor a 3 metros, no sería apropiada la elección de una retroexcavadora, ya que este es el largo usual que alcanza su brazo. En este caso, se debiese optar por un muestreo utilizando una máquina perforadora. Por otro lado, si no hay certeza de la extensión de la contaminación (de manera horizontal), pero el modelo conceptual indica que la contaminación no debiese alcanzar una profundidad mayor a 3 metros, se privilegiaría el uso de una retroexcavadora, ya que permitiría una mejor visualización de las condiciones del subsuelo. En la misma lógica, si la contaminación es superficial (por ejemplo, por emisiones de polvo), se pueden utilizar herramientas manuales, siempre y cuando las condiciones del suelo lo permitan (puede que la dureza del suelo sea tal que no permita la colección de muestras de manera manual, como en algunos sectores del norte de Chile).

También se deben considerar otros factores en la elección de la metodología, tales como imposibilidad de acceso de maquinaria, restricciones por operaciones de funcionamiento en sitios activos, temas de seguridad (ej. peligros al realizar excavaciones cerca de instalaciones o por la altura del mástil de la perforadora, etc.), necesidades logísticas de realizar el muestreo en el menor tiempo posible, etc.

En la Parte 3 - Anexo 4 de esta Guía, se presenta la metodología de muestreo usualmente utilizada, para distintas matrices.

Por último, en la etapa de diseño del plan de muestreo, también se deberá evaluar la necesidad de realizar mediciones in-situ en el sitio, por ejemplo, de suelos con XRF o PID, o de agua con medidores multiparámetros. Más detalle de métodos de medición in-situ se presenta en la Parte 3 - Anexo 5 de esta Guía.

7.3.1.8 Colección de muestras background

Las formaciones geológicas e hidrogeológicas contienen compuestos y sustancias químicas de manera natural. Por lo general, esto corresponde principalmente a metales y metaloides, los que están asociados a los suelos y aguas. Las concentraciones de estas sustancias dependerán de la topografía, la geología, la geografía y las propiedades físicas, biológicas y químicas del entorno natural, o se verán influidas por ellas. De manera muy excepcional, se podrían encontrar sustancias orgánicas (ej. hidrocarburos) de forma natural en el medio ambiente, no obstante, esto es muy inusual y como regla general la presencia de estos debe tomarse como indicativo de influencia humana (y de contaminación).



Las concentraciones de estas sustancias químicas presentes de forma natural y no alteradas corresponden al nivel de fondo natural. Por otra parte, existen también, especialmente en lugares urbanizados, aportes de fuentes difusas antropogénicas no atribuibles a actividades industriales, comerciales o agrícolas específicas, los que se suman a este nivel de fondo natural. La suma de ambos factores corresponde al “nivel background” de un sitio, y se utiliza en la evaluación de datos, como se describe en la Sección 7.3.3.2.

Para determinar el nivel background, se deben coleccionar muestras de suelo (“muestras background”) en áreas cercanas al sitio contaminado, pero que no hayan sido afectadas por la contaminación que se está estudiando ni otra asociada a otros factores, es decir, excluyendo sectores donde existe una intervención permanente, tomando en cuenta que el hacerse cargo del riesgo preexistente en las zonas colindantes no es una responsabilidad de un proyecto particular. La cantidad de muestras background no debiese ser menor a un 10% de las muestras totales tomadas para la investigación Fase II, con un mínimo de 3 muestras.

Se reconoce que en algunos casos existirán considerables dificultades para realizar una evaluación adecuada de las concentraciones background, especialmente cuando el sitio y áreas circundantes han estado sometidos históricamente a actividades antropogénicas continuas, como, por ejemplo, el caso de zonas de uso industrial/comercial del suelo.

La evaluación de las concentraciones background debe realizarse en las proximidades del sitio (en la medida en que sea factible), ya que es importante comparar muestras entre los mismos tipos de suelos o series geológicas, o lo más similares posible. Las muestras deben ser tomadas en un lugar situado más arriba del sitio, tanto en relación a la dirección predominante del viento y de la escorrentía superficial, o movimiento de aguas subterráneas, debido al comportamiento y la movilización de las sustancias químicas en los medios potencialmente afectados. Para asegurarse de que las muestras sean representativas, se deben analizar adicionalmente características naturales de los suelos, tales como pH, CE e idealmente capacidad de intercambio catiónico (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+}) y materia orgánica. Estos análisis debiesen realizarse en las muestras background y en algunas (5 – 10%) de las muestras de caracterización del sitio, para demostrar que los suelos son similares.

El Ministerio del Medio Ambiente junto con EULA desarrolló en 2013 la “Guía de muestreo y de análisis químicos, para la investigación confirmatoria y evaluación de riesgo en suelos/sitios con presencia de contaminantes” que se refiere a la toma de muestras background y deberá ser revisada para mayor información o detalle.

7.3.1.9 Análisis de laboratorio

La implementación de un plan de muestreo trae consigo una serie de interrogantes que necesitan ser abordadas para garantizar la eficacia del proceso. Primero, la incertidumbre de cómo se puede estar seguro de que todos los contaminantes potenciales del sitio han sido efectivamente identificados y medidos es una preocupación sustancial. Este desafío resalta la necesidad de procedimientos de verificación robustos que aseguren una cobertura completa de todos los posibles contaminantes. Además, la decisión sobre cuándo y cómo discriminar cuáles contaminantes son de interés para un análisis más detallado es otro punto crítico. Esta fase, que es esencialmente descriptiva hasta que se realizan mediciones concretas, debe ser guiada por criterios bien establecidos y respaldados por datos científicos sólidos. El plan de muestreo deberá identificar los parámetros y analitos por los que se analizarán las muestras colectadas en el sitio (para cada matriz). La elección de los analitos se deberá realizar en base a los contaminantes de interés definidos en el modelo conceptual. Además, se deberán considerar otros parámetros fisicoquímicos para una caracterización general de la matriz y que, además pueden ser indicativos de la movilidad potencial, la forma en que se encuentran, o capacidad de degradación de estos, según sea relevante. Esto incluye la determinación de pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico, materia orgánica, iones mayores, capacidad de intercambio catiónico, entre otros.

Se debe considerar que no siempre será necesario analizar todos los analitos en todas las muestras colectadas, y dependerá de la hipótesis de distribución de los contaminantes y de los objetivos del muestreo (confirmar presencia de contaminantes o delimitación de la contaminación). Se recomienda que el plan de muestreo indique la cantidad de cada análisis y las muestras en las que se realizarán de manera aproximada, pero esto siempre deberá ser confirmado en terreno y modificado de ser necesario, según los hallazgos encontrados. La elección del laboratorio de análisis depende de varias variables: ubicación, disponibilidad y método de análisis, tiempo de respuesta, precio, consistencia (que hayan realizado análisis para el mismo sitio), entre otras. Se deberá considerar estos factores para su selección, poniendo especial atención a los métodos de análisis y los límites de detección para cada analito. En la Parte 3 - Anexo 11 de esta Guía se presenta un listado de los métodos de análisis recomendados para los principales analitos.

El laboratorio deberá estar acreditado por un organismo de acreditación nacional (INN) o por un organismo de acreditación signatario del acuerdo multilateral de reconocimiento de la Cooperación Internacional de Acreditación de Laboratorios (ILAC: International Laboratory Accreditation Cooperation), para las matrices y los ensayos a realizarse, salvo casos justificados. Se reconoce que algunos analitos no tendrán esta

acreditación, sin embargo, esto no debiese ser impedimento para que se realicen los análisis donde estos estén disponibles en el mercado y la técnica se refiera a un método internacionalmente reconocido. Es posible también que en algunos casos se requiera el envío de las muestras para su análisis a extranjero.

7.3.1.10 Procedimientos de control y aseguramiento de calidad

El plan de muestreo deberá indicar los procedimientos y medidas para el control y aseguramiento de calidad de las muestras y de su representatividad.

Dentro de esto se debe considerar la colección y análisis de muestras en duplicado, como una forma de verificar la validez de los resultados. Se recomienda la obtención de duplicados entre un 5% a un 10% del total de las muestras obtenidas en el sitio, y se sugiere analizar metales y parámetros básicos (pH y conductividad eléctrica).

Otras consideraciones relevantes para el aseguramiento y control de calidad, durante el muestreo y para la conservación de muestras, se detallan en la Parte 3 – Anexo 4 de la Guía.

7.3.1.11 Procedimientos de seguridad durante muestreo

En el plan de muestreo se deberán identificar los riesgos asociados a los trabajos de muestreo y se deberán plantear las medidas con las que serán controlados.

En la Parte 3 – Anexo 12 de esta Guía se presentan los principales riesgos y medidas que debiesen ser implementadas para controlarlos, además de las recomendaciones de elementos de protección personal a utilizar.

7.3.1.12 Cronograma y responsables

El Plan de muestreo debe indicar claramente el cronograma de las tareas de terreno y los profesionales que efectuarán el muestreo. Se debe indicar también el o los responsables por parte del titular del sitio, en caso de que los hubiese.

7.3.2 Ejecución del muestreo

La campaña de muestreo debe ser realizada según lo planteado en el plan de muestreo, salvo que existan factores que hagan necesaria alguna alteración menor antes de su ejecución. Cualquier alteración mayor, ya sea cambio en antecedentes, metodología de muestreo, u otro requerirá de una actualización del plan de muestreo.

Por otra parte, ya durante la ejecución de la campaña, es muy usual que el muestreo no pueda ser realizado exactamente como estaba planteado en el plan de muestreo, indicando también la razón de la modificación y si esta fue aprobada por el responsable del terreno.

A continuación, se detallan los aspectos principales que se deben tener en cuenta durante la ejecución del evento de muestreo.

7.3.2.1 Preparación

Como indicado anteriormente, es fundamental ceñirse al plan de muestreo y contemplar las adecuadas previsiones ambientales, de seguridad, y logística. Con respecto a lo anterior, se deben considerar los permisos adecuados para hacer ingreso al sitio, requerimientos particulares (ej. exámenes ocupacionales), horarios de funcionamiento, operaciones usuales realizadas en el sitio, acceso vehicular y de maquinaria, entre otros.

7.3.2.2 Muestreo

Previo al comienzo del muestreo se debe realizar una charla de seguridad con los participantes, dar a conocer los principales riesgos del sitio y sus medidas de control, establecer protocolos de comunicación, puntos de seguridad, servicios higiénicos, etc.

Luego de esto es recomendable hacer un reconocimiento del terreno y las ubicaciones del terreo con el responsable del sitio y subcontratistas donde estos sean contemplados (ej. operadores de excavadora o perforistas).



Posteriormente, se debe realizar las labores de muestreo según la metodología determinada con anterioridad. Es vital utilizar siempre herramientas limpias para recolectar las muestras, evitando la contaminación cruzada. Las excavaciones realizadas (en el caso de muestreo superficial o en profundidad) deben ser tapadas luego de haberse tomado las muestras y los registros necesarios. En general, se puede devolver el suelo a la misma excavación, sin embargo, en caso de que este presente evidencias claras de contaminación, se deberá disponer de forma adecuada, como indicado en la Sección 4.4.

Durante el evento de muestreo es fundamental llevar registro de las condiciones ambientales del área donde se está muestreando, de incidencias en cuanto al muestreo (ej. un testigo que no se pudo recuperar íntegro), de hallazgos inesperados (ej. coloración u olor particular en un área del terreno), condiciones climáticas, logísticas, entre otras. Lo anterior, adicional a los registros que deben ser llevados en relación a la matriz muestreada, tales como coordenadas e intervalo de profundidad, textura, olor, entre otros (en el caso de suelos o sedimentos); profundidad del pozo, apariencia del agua, cantidad purgada, parámetros fisicoquímicos, entre otros (en el caso de aguas subterráneas). Es usual (y recomendado) durante el muestreo el desarrollo de registros de perforación o de calicatas, consistentes en perfiles estratigráficos que describan los cambios notados en el suelo, además de los factores anteriormente mencionados.

Mayor información con respecto a los métodos de muestreo para distintas matrices y registros necesarios se presenta en la Parte 3 – Anexo 4 de esta Guía.

7.3.2.3 Análisis in-situ

Para obtener información inmediata (en tiempo real) sobre la concentración y distribución de contaminantes pueden utilizarse diversas técnicas de medición en terreno. Estas mediciones son menos rigurosas y fiables que los análisis realizados en un laboratorio, sin embargo, proporcionan resultados rápidos para guiar el diseño de estrategias de muestreo posteriores para la evaluación del sitio. Entre las técnicas más utilizadas para medición in-situ de suelos se encuentran los detectores de fotoionización (PID) y los equipos portátiles de fluorescencia de rayos X (XRF).

Estas técnicas pueden utilizarse para obtener un conocimiento general de las condiciones del campo y de la presencia de una posible contaminación, y pueden ayudar en la selección de muestras para el análisis de laboratorio. Las mediciones PID, por ejemplo, pueden ser útiles como guía de campo para indicar zonas que contienen compuestos volátiles. Sin embargo, su función de proporcionar datos en tiempo real debe complementarse con análisis químicos de laboratorio.

El uso de estas técnicas como única fuente de datos analíticos en la evaluación de sitios contaminados es inadecuado, ya que pueden dar resultados falsamente altos o bajos. Por ejemplo, el naftaleno puede aparecer en suelos afectados por hidrocarburos del petróleo y ser detectado por el PID, en contraste con el benzo(a)pireno (un hidrocarburo aromático policíclico (PAH) relevante para la salud humana), o solventes tipo tricloroetileno que no serán detectados. Dado que estas mediciones no siempre se correlacionan bien con los resultados de laboratorio, no suelen ser adecuadas para el muestreo de validación (ver Parte 2 – Sección 7). Lo mismo se puede indicar con respecto al uso de los XRF, los cuales no pueden detectar elementos ligeros tales como el boro, son dependientes de la composición geoquímica y textural de la matriz, además de que algunos elementos (ej. mercurio) sufren de interferencias con respecto a otros, lo que eleva sus límites de detección hasta valores poco útiles para una caracterización.

Otro equipo, aún más usado que los anteriores, son las sondas multiparámetro para agua. Estas son capaces de medir pH, conductividad, oxígeno disuelto, temperatura, potencial redox, entre otros, según la configuración que se le haya dado. Las mediciones de estos parámetros (al menos pH y conductividad) son indispensables cuando se está realizando monitoreo de aguas ya sea superficiales o subterráneas. En este respecto, no se debiese confiar solo en la realización de estos parámetros en el laboratorio, ya que el tiempo y las condiciones de transporte pueden hacer variar los resultados, siendo más representativos aquellos capturados en terreno.

En todos los casos anteriores, es fundamental que se realice una calibración de los equipos in-situ previo a la toma de mediciones. En el caso de las sondas multiparámetro, esta calibración debe ser efectuada dentro de 24 horas previo a su uso, y repetirse esta antes de cada día en terreno.

Más detalle sobre las técnicas de análisis in-situ se presenta en la Parte 3 – Anexo 5 de esta Guía.

7.3.2.4 Envasado, conservación y transporte de muestras

El envasado, conservación y transporte adecuados de muestras de suelos contaminados son críticos para mantener la integridad de las muestras y garantizar que los análisis posteriores sean precisos.

En cuanto al envasado, se debe utilizar contenedores limpios y adecuados para muestras de suelo, preferiblemente de vidrio o plástico de alta calidad (según indique el laboratorio para cada análisis) que no reaccionen químicamente con la muestra. En algunos casos, los laboratorios permiten el uso de bolsas, siempre y cuando se tomen las precauciones para evitar pérdida de la muestra o la contaminación cruzada. Se debe etiquetar



claramente con el código de la muestra (que incluya identificación del punto de muestreo y profundidad), la fecha y hora, el tipo de análisis a realizar (si se conoce) y cualquier otra información relevante. Es importante también envasar la muestra hasta llenar completamente el contenedor y sellarlo herméticamente para evitar la fuga de vapores o contaminación cruzada.

Las muestras deben guardarse en frío, tan pronto como se recolecten, especialmente para preservar la integridad de los compuestos orgánicos volátiles. Se debe evitar, además, la exposición de las muestras a la luz solar directa, altas temperaturas o humedad excesiva, ya que pueden alterar la composición de los contaminantes presentes en el suelo. Se deben proteger los envases para evitar que estos se rompan durante el transporte, e incluir la cadena de custodia indicando la identificación de la muestra y los análisis a realizarse.

Una vez que las muestras llegan al laboratorio, este generalmente envía un comprobante de ingreso, el que debe ser revisado por los profesionales

que realizaron en muestreo, confirmando que la información esté correcta, especialmente con respecto al número de muestras, los análisis a realizar a cada una y su codificación.

7.3.3 Evaluación de resultados

7.3.3.1 Evaluación de calidad de datos

Una vez realizado el muestreo y obtenidos los resultados analíticos, el primer paso es revisar que no existan datos erróneos o improbables según la concepción del sitio investigado. Si bien los laboratorios toman las precauciones para evitar los errores en los informes de resultados, estos ocurren de vez en cuando, ya sea por algún error en la analítica o simplemente por error humano en la compilación de datos (ausencia de decimal, resultados traslapados, etc.). Estos errores también se pueden dar por inconsistencias desde el muestreo, ya sea en la rotulación de las muestras, conservación inadecuada, etc., por lo que cobran especial relevancia las medidas de aseguramiento de calidad en terreno.

Para garantizar la precisión y confiabilidad en la evaluación de calidad de datos en estudios ambientales es esencial adoptar un enfoque riguroso en el análisis estadístico. En este sentido, se debe considerar el análisis de la varianza y la desviación estándar para evaluar la dispersión y consistencia de los datos, elementos clave para interpretar correctamente los resultados.

También, se debe integrar la evaluación sistemática de duplicados y contramuestras para verificar la coherencia de los datos y detectar posibles errores analíticos o de procedimiento.

7.3.3.2 Elección de norma de referencia

Una vez revisada la calidad de los datos, estos se deben comparar con una norma de referencia apropiada para los efectos de la evaluación. En este sentido, en ausencia de norma nacional, se debe utilizar una norma internacional según lo indicado por el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (RSEIA) en su Artículo 11 – Normas de referencia, que designa una lista de países de donde se debe obtener valores de referencia para evaluar cualquier componente ambiental no normado en el país. Esta lista comprende los siguientes países: “República Federal de Alemania, República Argentina, Australia, República Federativa del Brasil, Canadá, Reino de España, Estados Unidos Mexicanos, Estados Unidos de América, Nueva Zelanda, Reino de los Países Bajos, República Italiana, Japón, Reino de Suecia y Confederación Suiza”.

En la gran mayoría de los países que poseen legislación para suelos, y en especial aquellos con mayor experiencia en el tema mencionados en el RSEIA (ej. Australia, EE.UU., Canadá), los niveles de referencia se basan en

la determinación de un valor máximo bajo el cual: a) no habría riesgo para el receptor más sensible (contaminantes no cancerígenos), o b) resultaría en un aumento de riesgo aceptable (contaminantes cancerígenos) dentro de un escenario de uso de suelo específico.

La metodología para el cálculo de los niveles de referencia (tanto para contaminantes cancerígenos y no cancerígenos) para la protección de la salud internacionalmente está en su gran mayoría basada en ecuaciones, conceptos y metodología derivadas por la USEPA para su programa de superfunds y brownfields Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS)¹² que data de 1988. Esta metodología calcula valores de referencia considerando tres posibles vías de exposición que corresponden a ingestión, dermal e inhalación. De manera general, estas tres vías de exposición se combinan entregando un solo valor objetivo general, bajo el cual no habría riesgo para determinado uso de suelo.

La determinación de valores de referencia para suelo es un tema esencialmente relacionado al ámbito de la salud y la protección de ésta y, en este sentido, los factores ambientales como climáticos, geología, suelos y otros relacionados influyen solo de manera tangencial en la valoración de los parámetros técnicos. En efecto, aunque se deseara (y fuese relevante) dar mayor importancia a los factores ambientales, existiría el problema de la variabilidad de estos dentro de un mismo país.

Para la elección de normativa de referencia de suelos deben primar otros aspectos diferentes a que “los suelos de tal país sean similares a los de Chile”, lo que como indicado anteriormente, es mayoritariamente irrelevante (en términos de salud humana) y difícil o imposible de lograr. En este sentido, en cuanto a los criterios para elegir una norma internacional en desmedro de otra se debe considerar como criterio inicial aspectos tales como:

- que posea valores de referencia para los parámetros que son relevantes a la investigación de acuerdo al modelo conceptual determinado;
- que indique escenarios aplicables al uso de suelo que está siendo evaluado y que los receptores considerados sean relevantes al sitio;
- que sean de valores semejantes al valor basal del suelo, es decir, donde no se encuentre el impacto de la actividad contaminante, pero que exista actividad antrópica.

De manera lógica, y siguiendo los criterios anteriores, no se debe utilizar una norma diseñada para un uso de suelo menos sensible en otro más sensible, por ejemplo, utilizar una norma de uso industrial en un sitio de uso residencial o de espacio abierto. Se debe, en este caso, utilizar ya sea una norma diseñada para este uso de suelo o en su defecto, un uso de suelo más sensible.

12 - Disponible en: <https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-rags-part>

Adicionalmente, se debe considerar que algunas de las normas de referencia (ej. Federal canadiense, Países Bajos, entre otras) consideran, para definir los valores la protección, no solo a la salud humana, sino que a receptores ecológicos, donde después de una evaluación de riesgos se determina el valor más bajo (ya sea para protección de salud humana o biota) como el nivel de referencia por defecto a utilizar. En este sentido, se debe considerar si efectivamente es apropiado y realista considerar valores ecológicos en sitios urbanos o altamente industrializados, donde no se determine un alto valor ecosistémico. Por el contrario, en sitios donde exista la presencia de especies o ecosistemas sensibles, ya sea en el mismo terreno o alrededores (donde el modelo conceptual indique la posibilidad de movilización de contaminantes), se deben contemplar valores de referencia que incluyan consideraciones ecológicas.

Un segundo criterio que debe cumplirse en cuanto a la elección de normativa de referencia corresponde a la consideración de los valores background. Aun cuando una cierta norma indique que un valor es apropiado en términos técnicos, no se debe tomar esto como una “licencia” para contaminar hasta tal nivel, obviando potenciales repercusiones en el medio ambiente local.

Para los efectos anteriores, se determina que el valor de referencia adoptado no debe superar en tres veces la mediana del background medido para la evaluación. Vale decir, a modo ilustrativo, si se determina la mediana del background para arsénico como 12 mg/kg, la norma seleccionada (aparte de cumplir con el primer criterio) no podría superar los 36 mg/kg, lo que en este caso dejaría fuera la elección, por ejemplo, de la norma australiana de arsénico para uso residencial (de 100 mg/kg). Cabe notar que lo anterior podría implicar la necesidad de utilizar más de una norma de referencia internacional en un sitio (para distintos contaminantes), sin embargo, no se debiese utilizar más de dos (o tres como máximo en casos justificados).

El Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) y DICTUC desarrollaron el estudio “Definición de criterios para la justificación en el uso de normas y valores de referencia para la evaluación ambiental”¹³ (2023), donde se realizó una recopilación de los valores de referencia de normas internacionales para distintas matrices, el que puede ser útil para estos fines.

7.3.3.3 Determinación de riesgo

El último paso en el desarrollo de una evaluación Fase II corresponde a la evaluación de las concentraciones medidas en el sitio por cada analito y la verificación de la cadena fuente-ruta-receptor según el modelo conceptual actualizado. Para esto se deben calcular estadísticas básicas de las concentraciones de los analitos las que incluyen máximo, mínimo,

13 - <https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2023/10/20/VALREF-InformeFinal.pdf>

promedio, mediana y concentración representativa. Cabe notar que las concentraciones representativas para cada contaminante se deberán calcular como el límite superior del intervalo de confianza de 95% para la media (95% UCL, por sus siglas en inglés) de las concentraciones obtenidas en todo el sitio, o en una parte de este si la contaminación es acotada. Es decir, con un 95% de certeza se puede indicar que la media real de las concentraciones del sitio es menor o igual a este valor.

Para facilitar el cálculo del 95% UCL se pueden utilizar programas computacionales, como el software ProUCL de la EPA de Estados Unidos¹⁴. Este software permite calcular el 95% UCL de muestras de valores (concentraciones) con diferentes tamaños muestrales y distribuciones, utilizando métodos paramétricos y no paramétricos. En el caso de que algunas de las concentraciones sean inferiores al límite de cuantificación del laboratorio, estos pueden ser incluidos al análisis, considerando como concentración de la muestra la mitad del límite de cuantificación. Este método estadístico (95% UCL) es válido cuando existen suficientes datos muestrales (más de 8 resultados analíticos cuantificables, es decir, superiores al límite de cuantificación del laboratorio). En caso contrario, se deberá utilizar el valor promedio de las concentraciones obtenidas.

La primera aproximación para la determinación de riesgo debe ser el análisis de los datos como un conjunto total, donde se configuraría riesgo de cumplirse cualquiera de estas condiciones:

- Una muestra presenta concentraciones de más de dos veces el nivel de referencia
- El 95% UCL de las concentraciones (concentración representativa) para un analito está por sobre el nivel de referencia
- El promedio de concentraciones de un analito es más de 1,5 veces el nivel de referencia

A continuación, se debe (donde esto sea apropiado) realizar un análisis separando las muestras por área del sitio y si corresponden a muestras superficiales o subsuperficiales.

Se considera también el criterio profesional del profesional a cargo de la evaluación donde pudiesen existir excepciones, incluso de cumplirse los criterios anteriormente mencionados. El caso más básico pudiese ser cuando una muestra haya sido tomada en alguna zona donde haya ocurrido un derrame pequeño de alguna sustancia, o se haya muestreado un elemento particular presente en el sitio.

7.3.3.4 Evaluación de riesgos ecológicos

En caso de que en la evaluación del sitio se haya considerado como objeto de protección un receptor ecológico (por ejemplo, existencia de especies

14 - <https://www.epa.gov/land-research/proucl-software>

con alguna categoría de conservación, o dentro de un área protegida), se debe en esta etapa realizar una evaluación de riesgos ecológicos de tipo Tier 1, es decir, comparando las concentraciones de contaminantes en el suelo y otras matrices con valores de referencia. En este sentido, se debiese revisar si existe una norma secundaria de calidad ambiental que sea aplicable en el sitio o en los alrededores. Además, se recomienda la comparación con normas de referencia internacionales que incluyan en sus valores la protección de receptores ecológicos para la Evaluación de Riesgo Ecológico" desarrollada por el Ministerio del Medio Ambiente el año 2014 y considerar los criterios aplicables indicados anteriormente en la Sección 7.3.3.2.

7.3.4 Estructura y presentación de informe de Fase II - Caracterización del sitio y evaluación confirmatoria

El informe de Fase II - Caracterización del sitio y evaluación confirmatoria debiese incluir los siguientes componentes:

- Introducción, objetivos y alcances
- Caracterización del sitio
 - Estudio del sitio
 - Estudio del medio físico
 - Estudio de receptores
 - Modelo conceptual
- Evaluación confirmatoria
 - Plan de muestreo
 - Campaña de muestreo
 - Análisis in-situ o de laboratorio realizados
 - Resultados de análisis para todas las matrices
- Discusión de resultados (comparación con normativa y con background)
- Conclusiones y recomendaciones



8 Fase III – Estudios complementarios para la remediación y/o manejo

El objetivo de esta fase es el desarrollo de estudios complementarios conducentes a optimizar el diseño de un Plan de remediación o manejo, una vez confirmada la existencia de riesgo a través de una Fase II. Estos estudios son recomendables, dependiendo de la complejidad y objetivos de remediación para el sitio, y corresponden a los siguientes:

- Evaluación delimitatoria
- Evaluación de riesgos y valores objetivo de remediación

8.1 Evaluación delimitatoria

8.1.1 Objetivo y alcance

La evaluación delimitatoria consiste en el diseño y ejecución de un plan de muestreo y análisis de matrices ambientales que permita refinar la caracterización del sitio para actualizar el modelo conceptual con la finalidad de optimizar la costo-efectividad del Plan de remediación o manejo. La caracterización detallada del sitio permite delimitar la extensión de la contaminación (ya confirmada con la Fase II) de manera horizontal y vertical, y en otras matrices, de ser necesario, además de tener un número tal de muestras que permita calcular una concentración representativa de cada contaminante si se opta por realizar una evaluación de riesgos de Fase III (ver Sección 8.2).

8.1.2 Plan de muestreo

El diseño y ejecución del plan de muestreo delimitatorio debiese incluir de manera general los mismos componentes que un plan de muestreo confirmatorio (ver Sección 7.3.1), es decir, la definición de contaminantes de interés, matrices ambientales a muestrear, distribución, ubicación y densidad de muestras, metodología de muestreo, análisis de laboratorio, procedimientos de control y aseguramiento de calidad, y procedimientos de seguridad.

La diferencia con respecto a un plan de muestreo de Fase II radica principalmente en la ubicación y número de muestras (ya que el propósito no es confirmar la existencia de contaminación, sino que es delimitar su extensión), la metodología de muestreo (se debiese incluir muestreo en profundidad, que puede ser realizado mediante calicatas o sondajes), matrices ambientales (se debiese incluir muestreo de otros medios, como aguas subterráneas, sedimentos, etc. si es que no fue considerado en la Fase II, o si es que se determinó impactos en otras matrices y se debe detallar su magnitud y/o extensión) y analitos o parámetros a analizar (especiación, ensayos de lixiviación, etc.).

Algunos de estos puntos relevantes se detallan a continuación.

8.1.2.1 Determinación de área a delimitar

Previo a la definición del muestreo, se debe definir el área o áreas donde se realizará el muestreo delimitatorio. Para esto primeramente se debe identificar los puntos donde se encontraron resultados elevados encontrados en la Fase II por analito. Posteriormente, se debe establecer geográficamente un área de impacto considerando estos puntos. La manera de hacer esto es variada, y dependerá de una serie de factores los que incluyen el tipo de contaminante, la topografía del terreno, el tipo de suelo, la movilidad del contaminante, barreras naturales y/o antropogénicas, entre otras. En este sentido, para la delimitación de la contaminación se pueden considerar alguno(s) de los siguientes supuestos:

1- El impacto se extiende en todas direcciones (a la misma concentración) desde el punto donde se encontró una excedencia justo hasta el siguiente punto donde las concentraciones se encuentran bajo los niveles de referencia (método conservador).

2- El impacto se extiende decreciendo linealmente hasta el siguiente punto donde las concentraciones se encuentran bajo los niveles de referencia.

3- Existen barreras naturales o antropogénicas que dificultan o impiden la extensión de la contaminación (asumiendo un transporte superficial) desde el punto impactado.

Naturalmente, la realidad del sitio será más compleja y no siempre se podrán aplicar los supuestos anteriores. Se deben considerar también otros aspectos relacionados a la forma en que se van a transportar los contaminantes, por ejemplo:

- Si existen vías preferentes de transporte de la contaminación, las que pueden ser superficiales (ej. depresiones, cursos de agua activos o secos) o subsuperficiales (ej. servicios enterrados o tuberías de otro tipo).

- Si el sitio tiene una pendiente marcada en alguna dirección particular, por lo que se puede asumir un transporte superficial consecuente con una potencial escorrentía.
- Si en el sitio se realizan actividades o tiene usos que pudiesen afectar la dispersión de contaminantes (tránsito vehicular, movimiento de maquinaria, etc.).

Para este análisis se pueden utilizar modelos geoestadísticos de interpolación, los que ayudan a la predicción de concentraciones de contaminantes en sectores no muestreados, utilizando la correlación espacial entre las muestras conocidas. Algunos de los métodos más conocidos corresponden a la interpolación por Kriging¹⁵ y la interpolación por distancia inversa ponderada (IDW), entre otros, los que están disponibles en programas de sistema de información geográfico (ej. ArcGIS, QGIS, etc.). Notar que, de usarse alguna técnica de interpolación, esta debiese ser justificada y verificada de acuerdo a las condiciones reales del sitio.

El análisis de la extensión potencial de la contaminación para fines de delimitación es una materia que reviste de complejidad, y que requiere de un análisis de una multitud de factores relacionadas con las características del contaminante y su transporte, por lo que debe ser realizado por un profesional con experiencia en la materia, o por un equipo que sea riguroso en la aplicación de la metodología.

8.1.2.2 Densidad de muestreo

Una vez determinada el área potencialmente impactada, se debe planear el muestreo de manera similar a lo realizado en la Fase II. Esto incluye la determinación de la densidad de muestreo, la cual debe ser suficiente para poder optimizar los límites de la contaminación y así disminuir los costos del proceso de remediación.

Para esto se puede utilizar nuevamente la densidad establecida por el estándar chileno NCh3400, como indicado en la Sección 7.3.1.5, o las directrices de la USEPA en la materia.

8.1.2.3 Análisis de bioaccesibilidad u otro tipo de ensayos lixiviación

Adicionalmente, durante la evaluación delimitatoria, se debiese analizar la necesidad de realizar análisis de laboratorio específicos, como bioaccesibilidad o lixiviación. Una descripción de estos se presenta a continuación.

- **Bioaccesibilidad:** representa a la fracción de un contaminante que es liberada a partir de su matriz (suelo, planta, sedimento), una vez que esta matriz ha sido ingerida por un organismo vivo. En el caso del ser

humano, la liberación de la fracción bioaccesible ocurre en el espacio gastrointestinal, en el proceso de la digestión, quedando potencialmente disponible para absorción intestinal. La fracción bioaccesible puede también definirse como aquella fracción que, después de la ingesta, puede ser movilizadada hacia los fluidos gástricos.

El análisis de la bioaccesibilidad de contaminantes en la evaluación de riesgos ambientales usualmente comienza considerando el "peor escenario", que a menudo implica una digestión ácida para simular condiciones extremas de exposición. Este enfoque conservador ayuda a garantizar que no se subestimen los riesgos potenciales para la salud humana, evaluando la exposición bajo condiciones máximamente adversas.

Sin embargo, es crucial entender que el proceso de evaluación de riesgos es iterativo. Inicialmente, se utilizan los valores totales de los contaminantes, lo que tiende a sobreestimar la exposición al "peor escenario". Si los resultados sugieren un riesgo inaceptable, la evaluación debe ser refinada incorporando datos de biodisponibilidad relativa. Este segundo nivel de evaluación utiliza metodologías que consideran los mecanismos específicos de absorción de contaminantes a través de diferentes vías de exposición como el tubo digestivo, la piel y los pulmones, ofreciendo un escenario más realista.

Aunque la determinación de la biodisponibilidad relativa es más precisa, también conlleva mayores costos. Este factor justifica la implementación de enfoques de evaluación por niveles (Tier 1, Tier 2, Tier 3), permitiendo una escalada progresiva en la precisión y el costo de la evaluación dependiendo de los resultados iniciales y la gravedad del riesgo identificado, a la vez de contribuir a una gestión más eficiente de los recursos, focalizando intervenciones costosas y avanzadas solo cuando son estrictamente necesarias.

• **Ensayos de lixiviación:** son ensayos que determinan la movilidad de ciertas sustancias orgánicas e inorgánicas en materiales. Existen principalmente dos:

- El ensayo TCLP (procedimiento de lixiviación característica de toxicidad EPA 1311) determina la movilidad de los contaminantes inorgánicos presentes en una muestra y si los filtrados generados dan lugar a clasificar el material como "peligroso". El lixiviante se determina basándose en la capacidad de neutralización ácida del material de la muestra. El lixiviante seleccionado se añade a la muestra a una razón de líquido a sólidos de 20:1, y el contenedor de la muestra se rota de punta a punta durante 18 horas. El compuesto resultante se filtra a continuación a través de un filtro de fibra de vidrio de 0,7 μm y se analiza para obtener los metales totales.

–El ensayo SPLP (procedimiento de lixiviación por precipitación sintética EPA 1312) determina la movilidad de fases inorgánicas presentes en materiales de desecho en condiciones ácidas causadas por lluvia ácida. El fluido de extracción de pH ajustado se elabora añadiendo una mezcla 60/40 en porcentaje de masa de ácidos sulfúrico y nítrico al agua reactiva. El pH se ajusta a un nivel considerado comparable al de la lluvia ácida prevista en zonas altamente industrializadas. La preparación inicial de las muestras implica reducir la muestra hasta que el 80% de la misma pasa por una criba de 9,5 mm. Una muestra representativa se pesa en un contenedor y se extrae con una cantidad de fluido de extracción equivalente a 20 veces el peso del sólido. Después de la extracción, la muestra se hace girar durante 18 horas. Luego, el filtrado se separa de la fase sólida filtrándolo a través de un filtro de fibra de vidrio de 0,6 a 0,8 um. A continuación, se analizan ambas fases.

En el caso de ensayos de bioaccesibilidad, estos pueden ser utilizados como información suplementaria para realizar una evaluación semi-cuantitativa del riesgo, o incorporados en el proceso de evaluación de riesgo como el factor de biodisponibilidad relativa. Por otra parte, los ensayos de lixiviación TCLP o SPLP, pueden utilizarse para evaluar el potencial de movilidad de los contaminantes y la posibilidad, por ejemplo, de que estos sean transportados a las aguas subterráneas.

8.1.3 Actualización de modelo conceptual

A partir de la información recabada se deberá analizar la necesidad de actualizar el modelo conceptual del sitio, considerando particularmente las fuentes y las rutas de exposición.

8.1.4 Estructura y presentación de informe de Fase III – Evaluación delimitatoria

El informe de Fase III – Evaluación delimitatoria debiese incluir los siguientes componentes:

- Introducción, objetivos y alcances
- Resumen de antecedentes y resultados de fases previas, en especial matrices ambientales relevantes, contaminantes de interés, concentraciones obtenidas y su ubicación espacial
- Modelo conceptual preliminar (de Fase II)
- Metodología del plan de muestreo, que incluya número de muestras y ubicación de puntos de muestreo, análisis de laboratorio realizados, hallazgos de terreno, características de las muestras y puntos de muestreo
- Resultados de análisis
- Discusión de resultados
- Delimitación de la contaminación
- Modelo conceptual actualizado
- Conclusiones y recomendaciones

8.2 Evaluación de riesgo y valores objetivo de remediación

8.2.1 Objetivos y alcance

El objetivo de una evaluación de riesgo es estimar la naturaleza y probabilidad de efectos adversos a la salud de las personas o receptores ecológicos que pudiesen estar expuestos a contaminantes presentes en diferentes medios, ya sea actualmente o en el futuro.

Como mencionado en la Sección 5.2, la evaluación preliminar (Fase I) y la evaluación confirmatoria (Fase II) corresponden a evaluaciones de riesgo en distintos niveles, ya que ambas analizan la presencia de la cadena fuente-ruta-receptor. En la Fase II, la comparación con normativa nacional o internacional corresponde a una evaluación de riesgo para condiciones estándares de uso (ya sea residencial, industrial, etc.), ya que los niveles permisibles definidos en estas normativas se basan en parámetros toxicológicos de los contaminantes, además de factores y tiempos de exposición de receptores sensibles (niños en el caso de uso residencial y adultos en el caso de industrial).

La evaluación de riesgo de Fase III, en tanto, corresponde a un análisis sitio específico que se recomienda y justifica cuando existen diferencias en el uso del sitio con respecto a la configuración estándar con la que fueron definidos los valores de la norma. En este sentido, es conveniente realizar una evaluación de riesgo de Fase III principalmente en los siguientes casos:

- El sitio presenta contaminantes que no están indicados en la norma.
- El sitio tiene o tendrá un uso distinto a los establecidos en la norma, que podría ser más o menos restrictivo en cuanto a las condiciones de exposición. Por ejemplo, si los potenciales receptores del sitio corresponden a pacientes enfermos, personas con exposición base a contaminantes, o receptores ecológicos endémicos sensibles; o por el contrario, si los potenciales receptores del sitio corresponden solo a visitantes ocasionales.

El listado anterior no es limitado y una evaluación de riesgos de Fase III también podría ser solicitada por la Autoridad Ambiental en situaciones puntuales.

La evaluación de riesgo de Fase III permite entonces determinar la existencia (o ausencia) de riesgo (y el tipo) para distintos escenarios de uso, a partir de las concentraciones de contaminantes existentes en el sitio, y además calcular valores objetivo de remediación, distintos a los niveles permisibles indicados en la norma de calidad de suelos.

El proceso y metodología de evaluación de riesgo que se presenta a continuación está definida para receptores humanos. En el caso de que se requiera realizar una evaluación de riesgos ecológicos de tipo Tier 2, se debiese seguir una metodología aplicada y validada internacionalmente, como la de la USEPA¹⁵ o Australia¹⁶.

8.2.2 Proceso y metodología

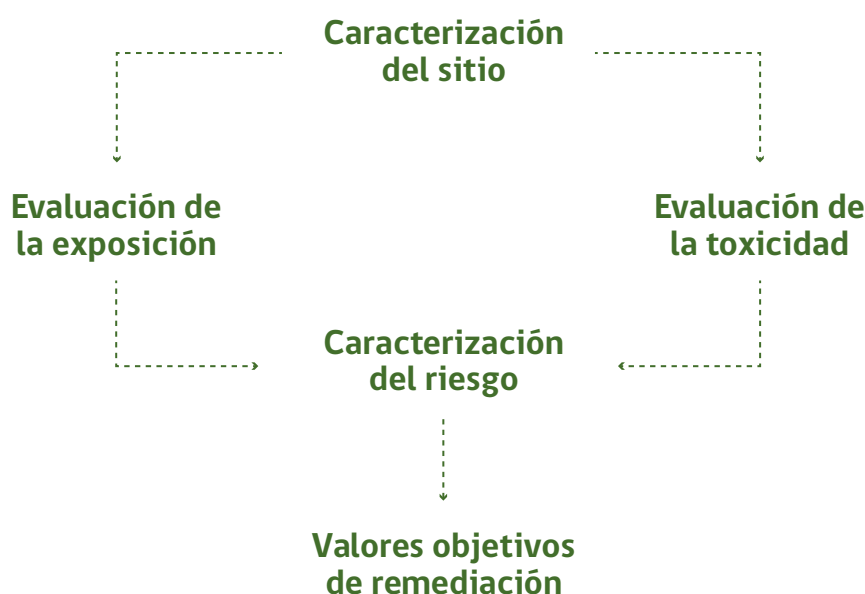
El proceso de evaluación de riesgos a la salud humana está basado internacionalmente en la metodología de la USEPA. Para efectuar una evaluación de riesgos se requiere desarrollar las siguientes etapas:

- Caracterización del sitio: considera las matrices impactadas, características físicas del sitio, contaminantes y su concentración y extensión de la contaminación.
- Evaluación de la exposición: considera las condiciones (tipo, frecuencia y duración) de exposición de los receptores al sitio.
- Evaluación de la toxicidad: considera características y parámetros de la peligrosidad de los contaminantes presentes en el sitio.
- Caracterización del riesgo: considera los resultados de la evaluación de la exposición y toxicidad y calcula el riesgo para sustancias cancerígenas y no cancerígenas de manera independiente.
- Determinación de valores objetivo de remediación: considera los resultados de la evaluación de la exposición y toxicidad, y calcula las concentraciones objetivo de contaminantes a partir de niveles de riesgos aceptables.

A continuación, se describe la metodología para desarrollar las etapas presentadas anteriormente.

15 - USEPA. 1997. Ecological Risk Assessment Guidance for Superfund: Process for Designing and Conducting Ecological Risk Assessments. <https://semspub.epa.gov/work/HQ/157941.pdf>

16 - National Environment Protection Council (NEPC), Australia. 2011. Guideline of Ecological Risk Assessment. Disponible en: <https://www.nepc.gov.au/sites/default/files/2022-09/schedule-b5a-guideline-ecological-risk-assessment-sep10-0.pdf>



8.2.2.1 Caracterización del sitio

La caracterización del sitio es la consolidación de la información obtenida de las fases anteriores: evaluación preliminar (Fase I), caracterización y evaluación confirmatoria (Fase II) y evaluación delimitatoria (Fase III). En particular, los datos que se requieren para esta etapa corresponden a los siguientes:

- Delimitación del sitio de estudio
- Delimitación de la extensión de la contaminación (área y profundidad)
- Características del sitio (físicas, topográficas, geológicas, hidrogeológicas, meteorológicas, etc.)
- Matrices impactadas
- Contaminantes existentes y concentraciones representativas en el sitio en las distintas matrices.

Los analitos con concentraciones significativas en al menos una de las muestras de suelo para un determinado uso, se consideran como contaminantes de riesgo potencial y son aquellos que se incluirán en las etapas siguientes del proceso de evaluación de riesgo para determinar si efectivamente representan un riesgo.

Cabe notar que las concentraciones representativas para cada contaminante se deberán calcular como el límite superior del intervalo de confianza de 95% para la media (95% UCL, ver Sección 7.3.3.3) de las concentraciones obtenidas en todo el sitio, o en una parte de este si la contaminación es acotada.

8.2.2.2 Evaluación de la exposición

Esta etapa consiste básicamente en evaluar la magnitud (actual o potencial) de la exposición a los contaminantes de interés considerando las vías principales a las que los receptores están o podrían estar expuestos. La información de exposición permite el cálculo de la dosis, esto es la magnitud de contaminante que ingresa al interior del organismo por contacto con la matriz ambiental contaminada y por la vía de exposición correspondiente. Las actividades principales del estudio de evaluación de la exposición son las siguientes:

- Identificación de las rutas de exposición
- Identificación de receptores y escenarios de exposición
- Actualización de modelo conceptual detallado
- Cálculo de dosis de exposición
- Selección de factores de exposición y fuentes de información

Los aspectos a considerar cuando se desarrolla cada una de estas actividades se presentan a continuación.

8.2.2.2.1 Identificación de las rutas de exposición

La ruta de exposición comprende los siguientes factores: fuente, mecanismo de transporte, matriz ambiental, punto de contacto, vías de exposición y receptores. Es importante determinar si cada ruta de exposición ha ocurrido en el pasado, está ocurriendo en el presente o se espera que ocurra en el futuro. Es posible que uno o más elementos de una vía de exposición no existan o no se logren identificar en el problema de contaminación. Se pueden identificar dos tipos de vías de exposición: completa o incompleta. Todas las rutas de exposición completas deben ser incluidas en una estimación de riesgo.

Si una ruta de exposición se considera incompleta, entonces la exposición no sucede, y por lo tanto, se descarta el riesgo. Este punto es crucial porque ayuda a evitar la sobreestimación de riesgos y concentra los recursos y esfuerzos de remediación en escenarios donde existe una exposición real y verificable.

Una ruta de exposición se considera completa y el receptor se considera expuesto si hay evidencia de que:

- Todos los elementos de la ruta de exposición existen o han existido
- Todos los elementos de la ruta de exposición están conectados
- Los contaminantes están presentes en el medio ambiente y en el punto de exposición

Finalmente, una ruta de exposición incompleta e improbable existe, y el receptor puede ser considerado libre de exposición, si hay evidencia sólida de que:

- Faltan uno o más elementos de la vía de exposición, no existen o no van a existir
- Uno o más elementos de la ruta de exposición no están conectados

Un ejemplo de ruta de exposición incompleta son contaminantes presentes en el suelo por debajo de una losa de hormigón. En el caso de que los químicos sean estables y no volátiles, y si no existe un peligro evidente de un contacto directo entre personas de la zona y los contaminantes, no hay posibilidad de una exposición y consecuentemente no hay riesgo significativo.

Uno de los factores relevantes en las rutas de exposición, son las vías de exposición las cuales para una evaluación de riesgos son las siguientes:

- **Ingestión:** de contaminantes vía oral al tracto digestivo

- **Inhalación:** de partículas o vapores de contaminantes
- **Contacto dérmico:** de contaminantes a través de la piel (absorción)

8.2.2.2.2 Identificación de receptores y escenarios de exposición

Son receptores humanos de preocupación aquellos que presentan mayor susceptibilidad, mayor exposición o que presentan alguna característica que los hacen más vulnerable a la exposición de los contaminantes en estudio. Estos pueden ser receptores actuales o potenciales/futuros y se deben considerar aquellos que se encuentran dentro del sitio (on-site) y fuera de este (off-site). Esta actividad considera la selección y descripción de los escenarios de exposición hipotéticos, de acuerdo a los antecedentes que se han recabado para el sitio. En la descripción se deben señalar al menos a los receptores de preocupación que se prevén expuestos (actuales y futuros; dentro y fuera del sitio) y los medios y vías de exposición asociados a cada receptor, junto con las razones por las que el escenario es considerado posible en el sistema en estudio.

8.2.2.2.3 Actualización de modelo conceptual detallado

Las premisas y requerimientos antes detallados para la elaboración del modelo conceptual en la Sección 5.2.3 son también válidos para la elaboración del modelo conceptual detallado de Fase III. Esta vez, los nuevos antecedentes recabados pueden determinar el descarte o incorporación de nuevos medios de transporte, rutas de exposición, receptores, entre otros, que podrían redundar en cambios de los escenarios de exposición previstos y, por tanto, en el modelo conceptual del sitio. Es también posible que la hipótesis inicial de la situación del suelo en estudio no cambie y que por tanto el modelo conceptual se mantenga. Uno de los puntos más relevantes para desarrollar una evaluación de riesgo a la salud humana consiste en la elaboración de un adecuado modelo conceptual del sitio y su entorno.

El modelo conceptual debe ser la mejor representación esquemática del problema a partir de los datos disponibles, considerando las limitaciones e incertidumbres inherentes a tales datos. Se requiere especial atención en su elaboración, ya que la fiabilidad de las conclusiones que se obtengan de la evaluación de riesgos depende de la representatividad del modelo conceptual. El modelo conceptual debe explicitar claramente las relaciones entre sus elementos, para lo cual se emplea un esquema gráfico que los represente. Es importante poner de manifiesto las hipótesis de partida, así como las limitaciones e incertidumbres asumidas, con una valoración preliminar de las mismas. A este respecto, la clave no es la cuantificación sino la identificación de las variables e hipótesis que contribuyen mayoritariamente a las incertidumbres.

8.2.2.2.4 Cálculo de dosis de exposición

La exposición de un receptor tipo (representativo de un escenario de análisis) a un determinado contaminante suele expresarse en términos de la dosis/ingesta del mismo a través de cada una de las vías de exposición que sean relevantes para el escenario en cuestión. A efectos de su posterior utilización en la etapa de caracterización del riesgo, la ingesta que resulta de interés es la mejor estimación posible de la media que se produciría a lo largo de un tiempo determinado. Por ello, el concepto de ingesta media hace referencia a la cantidad de contaminante a la que se ve expuesto un receptor a través de una vía de exposición concreta promediada sobre un período de exposición determinado y normalizada por el peso corporal del receptor. En la práctica, la ingesta media más utilizada es la diaria, que se expresa como masa de contaminante por unidad de peso del receptor por día. En base a lo anterior, la fórmula genérica que permite calcular la ingesta media diaria de un determinado contaminante a través de una determinada vía de exposición es la siguiente:

$$I = \frac{C * TC}{P} * \frac{TE}{PE}$$

Donde:

I = Ingesta media diaria de contaminante [masa/masa·tiempo]

C = Concentración representativa del contaminante [masa/masa o masa/volumen]

TC = Tasa de contacto (inhalación, ingestión o contacto dérmico) [masa/tiempo]

P = Peso corporal del receptor [masa]

TE = Tiempo de exposición (duración total; días al año (frecuencia) por cantidad de años (periodo)) [tiempo]

PE = Periodo de exposición [tiempo]

En la Parte 3 – Anexo 13 de esta Guía se presentan las fórmulas que permiten calcular la ingesta media diaria para vías de exposición específicas.

8.2.2.2.5 Selección de factores de exposición y fuentes de información

Los factores de exposición humana son variables que describen características biológicas y fisiológicas del receptor humano y que permiten el ingreso de sustancias químicas al organismo, por ejemplo, el peso corporal, volumen de aire inspirado por hora, agua ingerida por día, tasa diaria de alimento ingerido, superficie dérmica de cada parte del cuerpo, absorción dérmica por día, entre otras.

Por otro lado, los factores de exposición temporales, como la duración, frecuencia y largo del contacto, se refieren al tiempo durante el cual

la sustancia está en contacto con el límite exterior del organismo. Para sustancias que ingresan al organismo por la vía respiratoria y dérmica, se supone que la penetración (exposición) es inmediata y por lo tanto el tiempo de contacto es igual a la duración de la exposición.

El valor numérico de los factores de exposición depende de las circunstancias que ocurren durante la exposición. Por ejemplo, si la exposición se trata de niños en un colegio, entonces los volúmenes de respiración por hora, superficie dérmica expuesta, e ingestión de agua son valores específicos para una determinada edad de niños (ambos sexos). La absorción del contaminante depende de la liberación previa del contaminante desde la matriz ambiental, por lo que la absorción neta de contaminante depende de la matriz y de la naturaleza del contaminante y, por lo tanto, es un valor específico.

Se pueden encontrar diversas fuentes de información para el apoyo en la definición de los factores y en la realización de una evaluación de la exposición, dentro de las que destaca la USEPA¹⁷ y RAIS¹⁸. En la Parte 3 – Anexo 14 de esta Guía se presenta una recomendación de factores de exposición según el tipo de receptor.

8.2.2.3 Evaluación de la toxicidad

La evaluación de la toxicidad es un procedimiento para seleccionar los valores adecuados de los parámetros que miden la peligrosidad de las sustancias tóxicas presentes en el sitio, acompañados por la calificación de la calidad de esa información. En esta etapa se identifica la toxicidad del contaminante o de los contaminantes a los cuales un receptor está o puede estar expuesto, identificando la correspondencia entre la cantidad de tóxico y la magnitud del efecto, concepto conocido como la relación dosis-respuesta.

La evaluación de toxicidad en el marco de la metodología de la USEPA considera: los tipos de efectos adversos a la salud humana asociado a los elementos o sustancias de interés; la relación entre la magnitud de la exposición y los efectos adversos y la incertidumbre asociada a cada químico en particular, como pudiera ser el peso de evidencia de una sustancia cancerígena.

Los puntos anteriores se pueden típicamente resumir en un perfil toxicológico, el cual da cuenta de las referencias de toxicidad disponibles para elementos o sustancias químicas no cancerígenas (dosis de referencia, DdR) separadamente de las cancerígenas (factores de pendiente cancerígena, FPC, para vía oral, y factores de riesgo unitario, FRU, para vía inhalación). A este último grupo se incluye el peso de evidencia cancerígena, es decir, la clasificación de los contaminantes según la probabilidad de tener efectos cancerígenos en humanos. La información anteriormente descrita se deriva de datos experimentales

17 – USEPA. 2011. Exposure Factors Handbook. Disponible en: <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=236252>

18 – Risk Assessment Information System. https://rais.ornl.gov/tools/rais_chemical_prg_guide.html

obtenidos con mamíferos (ratas, ratones, conejos, cuyos, perros o monos) para luego extrapolarlos a humanos.

La USEPA ha hecho el trabajo de analizar la información toxicológica de buena calidad que existe y la ha acumulado en varias tablas electrónicas para consulta en línea o en publicaciones periódicas. Estas tablas constituyen las mejores fuentes de información sobre índices de toxicidad disponible. Por ejemplo, el sistema IRIS (Integrated Risk Information System) es una base de datos que contiene información actualizada sobre toxicidad y la normatividad para el uso de numerosas sustancias. IRIS contiene los valores verificados de las dosis de referencia y de los factores de pendiente y especifica el nivel de incertidumbre usado en la derivación de las dosis. La base de datos consiste en una colección de archivos por cada sustancia que se van actualizando a medida que la información científica se revisa. Sólo puede ser consultada en línea y puede accederse a ella desde la página electrónica de la USEPA¹⁹.

La información determinante para esta etapa es la siguiente:

- Perfiles toxicológicos de cada contaminante con Dosis de Referencia de toxicidad (DdR) o Factores de Pendiente Cancerígena y de Riesgo Unitario para exposición crónica por vía oral o por inhalación
- Criterios de toxicidad para contaminantes no cancerígenos (crónicos) y cancerígenos
- Caracterización de los elementos o sustancias según peso de evidencia

Las principales fuentes de información para obtener valores de toxicidad se presentan en la siguiente tabla.

19 - https://iris.epa.gov/AtoZ/?list_type=alpha

Fuente de información	Link a base de datos
Integrated Risk Information System (IRIS) de USEPA	http://www.epa.gov/IRIS/
International Agency for Research on Cancer (IARC)	https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications/
PubChem	https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/
CompTox	https://comptox.epa.gov/dashboard/

Fuente de información	Link a base de datos
Risk Assessment Information System (RAIS)	https://rais.ornl.gov/
HEAST	http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=2877
ATSDR	https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiledocs/index.html

Fuente: Elaboración propia en base a Guía para la elaboración de estudios de evaluación de riesgos a la salud y el ambiente (ERSA) en sitios contaminados (Ministerio del Ambiente de Perú, 2015)

8.2.2.4 Caracterización del riesgo

La caracterización del riesgo resume y combina los resultados obtenidos en la evaluación de exposición y toxicidad, ambos en expresiones cualitativas y cuantitativas. La información de toxicidad se compara con los niveles de exposición en forma separada para sustancias o elementos cancerígenos y no cancerígenos.

8.2.2.4.1 Contaminantes no cancerígenos

Los contaminantes no cancerígenos muestran un mecanismo de acción tóxica que se denomina umbral (denominados en inglés como “threshold contaminants”). Esto significa que existe un valor bajo el cual no debiesen esperarse efectos negativos a la salud humana. A este valor umbral se le llama Dosis de Referencia (DdR) dentro de la metodología USEPA. De manera simplificada, este valor se deriva usualmente usando valores experimentales extrapolados de estudios animales desde donde se derivan los parámetros toxicológicos No Observed Effect Level (NOAEL) o “Nivel Sin efectos Observados” y el Lowest Observed Effect Level (LOAEL) o “Nivel más Bajo de Efectos Observados”. Naturalmente la DdR será siempre más baja que el LOAEL, pero cuanto más bajo depende del factor de seguridad utilizado y la confianza en los estudios en los cuales está basado.

Para los elementos no cancerígenos se calculan los Cocientes de Peligro, dividiendo el valor de la Dosis Diaria Promedio Anual (DDPA) por cada vía de exposición entre el valor de la Dosis de Referencia (DdR), indicado en las bases de datos toxicológicas y que representa el valor sobre el cual podría existir un efecto sistémico por el contaminante en estudio. Se deben seleccionar las dosis de referencia para los mismos períodos y vías de exposición que se usaron en la estimación de las dosis suministradas/absorbidas.

$$CP = \frac{DDPA}{DdR}$$

Donde:

CP = cociente de peligro por cada vía de exposición y contaminante [sin unidad]

DDPA = dosis diaria promedio anual por cada vía de exposición y contaminante [masa/masa·tiempo] (corresponde a la ingestión media diaria presentada en la Sección 8.2.2.2.4)

DdR = dosis de referencia por cada vía de exposición y contaminante [masa/masa·tiempo]

Nota: el valor de DDPA puede ser multiplicado por un factor de biodisponibilidad relativa del contaminante (mayor a 0 y menor o igual a 1, sin unidad), que indica la fracción del contaminante que estará biodisponible (de manera conservadora se puede asumir como 1, es decir, el 100% del contaminante estará biodisponible)

Al sumar los CP de todas las vías de exposición y todos los contaminantes, se obtiene un Índice de Peligro (IP), que refleja el riesgo de efectos crónicos no cancerígenos en la salud. Un IP mayor a 1 indica que la dosis de exposición es mayor que la dosis de referencia, por lo que existiría riesgo.

8.2.2.4.2 Contaminantes cancerígenos

Dentro de los contaminantes cancerígenos se han reconocido dos grupos también de acuerdo con su mecanismo de acción, aquellos que son genotóxicos y los no-genotóxicos. Se reconoce transversalmente que los contaminantes genotóxicos son contaminantes no umbral, por cuanto existen efectos a cualquier dosis, vale decir, que no existe una dosis "segura" (o DdR), ya que la más mínima exposición ya estará causando algún nivel de riesgo de desarrollar cáncer. En teoría, los contaminantes no genotóxicos pueden ser clasificados como umbral, vale decir que existe una dosis bajo la cual no se esperan efectos cancerígenos, sin embargo, en la práctica algunos países (Canadá, Estados Unidos) no hacen distinción y consideran a todos los contaminantes cancerígenos como no umbral.

Para las sustancias cancerígenas, entonces, los riesgos se estiman como el incremento en la probabilidad de que un individuo desarrolle cáncer durante su período vital como resultado de la dosis suministrada por la exposición a un agente cancerígeno. Es decir, lo que se calcula es el incremento del riesgo de desarrollar cáncer, conocido como el Riesgo Extra de Cáncer de por Vida (RECV). Este se estima usando la Dosis Diaria Promedio de por Vida (DDPV) calculada para cada contaminante cancerígeno y por cada vía de exposición, multiplicada por el respectivo

criterio de toxicidad, dado por las bases de datos toxicológicas. Para sustancias cancerígenas por la vía oral o dérmica se usa como criterio de toxicidad el Factor de Potencia Cancerígena (FPC) o también denominado Factor de Pendiente; mientras que por la vía de inhalación se emplea el Factor de Riesgo Unitario (FRU).

$$\text{RECV} = \text{DDPV} * \text{FPC} \text{ (para vía oral o dérmica)}$$

$$\text{RECV} = \text{DDPV} * \text{FRU} \text{ (para vía de inhalación)}$$

Donde:

RECV = riesgo extra de cáncer de por vida

DDPV = dosis diaria promedio de por vida (corresponde a la ingestión media diaria presentada en la Sección 8.2.2.4, ponderada por las etapas de vida (niño/adulto), con sus respectivos factores de exposición)

FPC = factor de potencia cancerígena o factor de pendiente

FRU = factor de riesgo unitario

Los riesgos de cáncer (RECV) se estiman para cada contaminante, los cuales luego se suman para obtener la contribución total del contaminante a través de las vías de exposición. Igualmente, los riesgos de cáncer también se estiman para cada vía de exposición a través de todos los contaminantes. Finalmente, la suma de todos los RECV para todos los contaminantes y vías de exposición resulta en el Riesgo Extra Total de Cáncer de por Vida (RETCV) de la contaminación en el sitio.

El criterio de aceptabilidad del riesgo cancerígeno (es decir, el valor máximo de riesgo para que este sea aceptable) varía entre países e instituciones, en un rango que habitualmente oscila entre 10^{-4} y 10^{-6} (es decir, un caso de cáncer adicional a lo largo de una vida en una población de 10.000 o 1.000.000 personas, respectivamente).

8.2.2.4.3 Consideraciones especiales

Se debe notar que la realización de evaluaciones de riesgo sitio específicas implica tener en cuenta ciertas consideraciones especiales al realizarlas, que tienen que ver especialmente con ciertos contaminantes y vías de exposición. Para una correcta aplicación de la metodología, deben revisarse las fuentes de información originales y las posibles actualizaciones que se realizan periódicamente a medida que avanzan los estudios en la materia. Algunas consideraciones relevantes se presentan a continuación:

- Para el caso del plomo se recomienda la utilización del modelo IEUBK de la USEPA²⁰ conocido como "Integrated Exposure Uptake Biokinetic Model for Lead in Children" o su sigla IEUBK, cuyo objetivo es modelar concentraciones de plomo en la sangre, a partir de las concentraciones en suelo. El valor de referencia es de 5 ug/dl, de acuerdo a la guía clínica de MINSAL²¹. El uso de este modelo no es para evaluar caso a caso, sino si

20 - Modelo USEPA: Se encuentra disponible en <https://www.epa.gov/superfund/lead-superfund-sites-software-and-users-manuals>

21 - Guía clínica de MINSAL: Se encuentra disponible en <https://dipol.minsal.cl/wp-content/uploads/2018/06/Plomo.pdf>

existe una exposición significativa de la población infantil a esos niveles de plomo en el suelo.

- Se recomienda considerar el factor de biodisponibilidad relativa de los contaminantes para el cálculo de los niveles de riesgo, especialmente en el caso del arsénico.

- Se debe considerar que no todos los contaminantes actúan a través de todas las vías de exposición, por lo que se debe revisar cuáles aplican para cada contaminante.

- La fórmula general de ingesta presentadas en la Sección 8.2.2.2.4 considera que la concentración del contaminante en el punto de exposición es igual a la concentración del contaminante en el suelo, es decir, no considera fenómenos de transporte y, por lo tanto, tampoco procesos de dispersión o dilución de contaminantes. Esto genera una sobreestimación del riesgo, pero se considera un supuesto conservador. Sin embargo, es posible incorporar dentro del análisis ecuaciones de transporte de contaminantes para modelar estos procesos y ajustar las concentraciones en el punto de exposición. Además, se pueden incorporar modelos de transporte específicos para otras rutas, como intrusión de vapores de contaminantes orgánicos (ej. Modelo Johnson and Ettinger).

- Algunos contaminantes presentan variaciones en la fórmula para el cálculo de ingesta²², por ejemplo, el cloruro de vinilo, lo de que debe ser revisado de manera particular.

Para mayor información con respecto a los aspectos a tener cuenta en la realización de evaluaciones de riesgo, se puede consultar fuentes de información de organismos internacionales con experiencia en la materia, como Risk Assessment Information System (RAIS)²³.

8.2.2.5 Determinación de valores objetivo de remediación

Los Valores Objetivos de Remediación (VOR) son los niveles de concentración de cada sustancia que debiera existir en las matrices ambientales evaluadas para que el riesgo presente en el sitio disminuya a un nivel aceptable. Estos se calculan de forma similar a los índices de riesgo (mismas ecuaciones), sin embargo, la incógnita de las ecuaciones en este caso es la concentración, y se reemplaza el índice de peligro y el riesgo de cáncer por los criterios de aceptabilidad correspondientes (IP de 1 en el caso de contaminantes no cancerígenos, y RECV entre 10^{-4} y 10^{-6} en el caso de contaminantes cancerígenos). De esta forma, se calculan valores objetivo para las distintas vías de exposición y para cada escenario de exposición. Luego, el valor objetivo general para cada contaminante se calcula con la siguiente fórmula, a partir de los valores objetivo por cada vía de exposición.

22 - <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-equations#res>

23 - <https://rais.ornl.gov/>

$$VO = \left(\frac{1}{VO_{ing}} + \frac{1}{VO_{der}} + \frac{1}{VO_{inh}} \right)^{-1}$$

Donde:

VO_{ing}: Valor objetivo calculado para la ingestión de suelo contaminado

VO_{der}: Valor objetivo calculado para el contacto dérmico con suelo contaminado

VO_{inh}: Valor objetivo calculado para la inhalación de suelo contaminado como polvo

Con respecto a los escenarios de exposición, se debe escoger el valor objetivo más conservador, es decir, aquel valor menor entre los calculados para los diferentes escenarios de exposición.

Además, para el cálculo de los valores objetivo, se debe considerar el efecto acumulativo de los contaminantes. En el caso de que exista más de un contaminante que represente riesgo en el sitio, se debe asegurar que el riesgo total (tomando en cuenta todos los contaminantes) sea menor o igual al riesgo aceptable. Una forma de realizar esto (según indicado en RAIS²⁴) es dividiendo el nivel de riesgo aceptable IP en el número de contaminantes, de manera que, para el cálculo de cada valor objetivo, se utilice como IP una fracción del total. Por ejemplo, si hay 2 contaminantes no cancerígenos que generan riesgo en el sitio, para calcular el valor objetivo de cada uno, se debe considerar como aceptable un nivel de riesgo de 0,5 (IP dividido en 2).

8.2.2.6 Delimitación del área a remediar según valores objetivo

Luego de la determinación de los valores objetivo de remediación para cada contaminante del sitio, se debe analizar y delimitar los sectores que presentan concentraciones mayores a estos valores, que corresponderían a aquellos que deben ser remediados o manejados. Para esto, se recomienda visualizar espacialmente y destacar todos aquellos puntos de muestreo (de investigaciones de Fase II y Fase III) en que las concentraciones sean mayores a los valores objetivo. Luego, se deberá delimitar el área a remediar siguiendo las recomendaciones presentadas en la Sección 8.1.2.1 (determinación del área a delimitar en la evaluación delimitatoria de Fase III).

Lo anterior se puede realizar para delimitar la superficie a remediar (extensión horizontal), y también para determinar la profundidad (extensión vertical). De esta forma, se pueden calcular áreas de remediación o manejo, además de volúmenes de material (suelo contaminado) a remediar.

24 – Risk Assessment Information System. https://rais.ornl.gov/tools/rais_chemical_prg_guide.html

8.2.2.7 Análisis de incertidumbre

Inevitablemente, existe una considerable incertidumbre inherente en el proceso de evaluación de riesgos. Esto comienza con el uso de suposiciones e inferencias necesarias para llevar a cabo la estimación de riesgo y corresponden a:

a) Fuentes de incertidumbre genéricas al proceso de análisis de riesgo e independientes de la evidencia específica del problema de contaminación. Esta incertidumbre está asociada con la información de toxicidad y efectos en la salud de los contaminantes, información que tiene un error asociado y que en efecto puede ir cambiando en el tiempo conforme se efectúan nuevos estudios de toxicidad. Algunas fuentes de incertidumbre de este tipo provienen:

- De la extrapolación de dosis altas a dosis bajas cuando se conducen estudios de ensayos para cáncer y es necesario estimar dosis a muy bajos niveles de riesgo.

- De la extrapolación de datos obtenidos para animales experimentales a humanos.

- Debido a diferencias entre individuos (susceptibilidad) asociados intrínsecamente con los criterios de toxicidad. Por ejemplo, en las dosis de referencia, la incertidumbre depende de los factores de incertidumbre aplicados en la derivación de las dosis de referencia. Similar es el caso de los factores de potencia cancerígena, ya que la pendiente de la dosis-respuesta corresponde a un límite de confianza superior para una regresión lineal de respuesta.

b) Fuentes de incertidumbre en las mediciones o cálculo de la concentración en el punto de contacto:

- En el caso que se estime a través de un modelo matemático la concentración de contaminantes en el punto de contacto a partir de la concentración en la fuente de contaminación.

- En suposiciones usadas para el modelo matemático o consideraciones estadísticas relacionadas con la concentración en el punto de contacto.

c) Fuentes de incertidumbre en el cálculo de la dosis de exposición. En este caso se debe tener presente que las dosis estimadas son promedios a lo largo del tiempo. Algunas fuentes de incertidumbre de este tipo se originan o provienen:

- De las variables de origen (por ejemplo, muestreo del contaminante inicial y datos de monitoreo).

- De la estimación de dosis de exposición usando modelos matemáticos.

- Al suponer que los factores de exposición humanos son valores discretos (puntuales) en vez de funciones distribucionales.

De este modo, al realizar una evaluación de riesgos, es importante evaluar la incertidumbre indicando los aspectos del análisis que contribuyen en mayor grado a la incertidumbre, cuáles son las medidas adoptadas para minimizar la incertidumbre y cuál es la influencia de las incertidumbres en la caracterización del riesgo.

8.2.3 Estructura y presentación de informe de Fase III – Evaluación de riesgos y valores objetivo de remediación

El informe de Fase III – Evaluación de riesgos y valores objetivo de remediación debiese incluir los siguientes componentes:

- Introducción, objetivos y alcances
- Resumen de antecedentes y resultados de fases previas, en especial matrices ambientales relevantes, contaminantes de interés, concentraciones obtenidas y su ubicación espacial
- Metodología de evaluación de riesgos
- Caracterización del sitio
- Evaluación de la exposición, incluyendo actualización de modelo conceptual detallado
- Evaluación de la toxicidad
- Caracterización del riesgo
- Determinación de valores objetivo de remediación
- Delimitación del área a remediar según valores objetivo
- Análisis de incertidumbre
- Conclusiones y recomendaciones

9 Bibliografía de referencia

- > Fundación Chile. 2015. Manual de tecnologías de remediación de sitios contaminados.
- > GIZ – Inodú. s.f. Guía técnica de buenas prácticas ambientales para el cierre de centrales a carbón.
- > Instituto Nacional de Normalización. 2016. NCh 3400 Calidad del suelo – Muestreo.
- > Ministerio de Salud. 1996. D.S. 977 Reglamento sanitario de los alimentos. Modificado por el D.S. 38/2020.
- > Ministerio de Salud. 2016. Guía Clínica: Exposición Crónica al Plomo. Santiago. Disponible en: <https://dipol.minsal.cl/wp-content/uploads/2018/06/Plomo.pdf>
- > Ministerio del Ambiente, Perú. 2014. Guía para muestreo de suelos.
- > Ministerio del Ambiente, Perú. 2014. Guía para la elaboración de planes de descontaminación de suelos.
- > Ministerio del Ambiente, Perú. 2015. Guía para la elaboración de estudios de evaluación de riesgos a la salud y el ambiente (ERSA) en sitios contaminados.
- > Ministerio del Medio Ambiente – EULA. 2013. Guía de muestreo y de análisis químicos, para la investigación confirmatoria y evaluación de riesgo en suelos/sitios con presencia de contaminantes.
- > Ministerio del Medio Ambiente – Fundación Chile. 2014. Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes. Aprobada por Res. Ex. N° 406/2013 del Ministerio del Medio Ambiente.
- > Ministerio del Medio Ambiente – IdeAmbiente. 2022. Actualización catastro nacional de suelos con potencial presencia de contaminantes.
- > National Environment Protection Council (NEPC), Australia. 2011. Guideline of Ecological Risk Assessment. Disponible en: <https://www.nepc.gov.au/sites/default/files/2022-09/schedule-b5a-guideline-ecological-risk-assessment-sep10-0.pdf>

- > New South Wales Environment Protection Authority (NSW EPA). 2022. Sampling design part 1 – application. Contaminated Land Guidelines. Disponible en: <https://www.epa.nsw.gov.au/-/media/epa/corporate-site/resources/contaminated-land/22p3915-sampling-design-guidelines-part1.pdf?la=en&hash=C12162FBB9438F9BF59782EE4E4A953AE569913D>

- > Oak Ridge National Laboratory. s.f. Risk Assessment Information System. Disponible en: <https://rais.ornl.gov/index.html>

- > Sernageomin – Fundación Chile. 2015. Guía metodológica para la estabilidad química de faenas e instalaciones mineras.

- > Servicio Agrícola y Ganadero. 2011. Pauta para estudio de suelos.

- > Servicio de Evaluación Ambiental. 2012. Guía de evaluación de impacto ambiental – Riesgo para la salud de la población en el SEIA.

- > Servicio de Evaluación Ambiental. 2015. Guía para la descripción del área de influencia – descripción de los componentes suelo, flora y fauna de ecosistemas terrestres en el SEIA.

- > Servicio de Evaluación Ambiental – DICTUC. 2023. Definición de criterios para la justificación en el uso de normas y valores de referencia para la evaluación ambiental. Disponible en: <https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2023/10/20/VALREF-InformeFinal.pdf>

- > U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2011. Exposure Factors Handbook: 2011 Edition. National Center for Environmental Assessment, Washington, DC; EPA/600/R-09/052F. Disponible en: <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=236252>

- > U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 1997. Ecological Risk Assessment Guidance for Superfund: Process for Designing and Conducting Ecological Risk Assessments. <https://semspub.epa.gov/work/HQ/157941.pdf>



GUÍA METODOLÓGICA PARA LA

Gestión de **sitios** **Contaminados**