

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA GESTIÓN DE SUELOS CON POTENCIAL PRESENCIA DE CONTAMINANTES







ÍNDICE

CONTENIDOS

PRÓLOGO	11
----------------	-----------

1 Introducción	12
-----------------------	-----------

2 Glosario	14
-------------------	-----------

3 Alcances	17
-------------------	-----------

4 Fase I: Identificación, Priorización y Jerarquización de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes	21
---	-----------

4.1 Esquema de Trabajo o Procedimiento de la Fase I	22
---	-----------

4.2 Metodología de Trabajo	23
----------------------------	-----------

4.2.1 Actividad 1: Levantamiento de Información	23
---	-----------

4.2.2 Actividad 2: Identificación y Georreferenciación de Suelos	26
--	-----------

4.2.3 Actividad 3: Priorización de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes	27
--	-----------

4.2.4 Actividad 4: Inspección de Suelos	30
---	-----------

4.3 Requerimientos Profesionales y Técnicos Estimados, Fase I	39
---	-----------

5 Fase II: Evaluación Preliminar Sitio-Específica del Riesgo de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes	41
--	-----------

5.1 Esquema de Trabajo o Procedimiento de la Fase II	42
--	-----------

5.2 Metodología de Trabajo Fase II	43
------------------------------------	-----------

5.2.1	Investigación Preliminar	43
5.2.2	Investigación Confirmatoria	48
6	Fase III: Evaluación del Riesgo y Plan de Acción para la Gestión de Suelos con Presencia de Contaminantes	77
6.1	Esquema de Trabajo o Procedimiento de Trabajo Fase III	78
6.2	Metodología de Trabajo Fase III	79
6.2.1	Evaluación de Riesgo a la Salud Humana	79
6.2.2	Plan de Acción	93
7	Referencias Bibliográficas	102
8	ANEXOS	106
	ANEXO 1: Actividades Potencialmente Contaminantes del Suelo	106
	ANEXO 2: Obtención de Coordenadas (Geográficas o UTM)	108
	ANEXO 3: Ficha de Inspección de Suelos Con Potencial Presencia de Contaminantes	110
	ANEXO 4: Recursos y Plazos Estimados Para Aplicar la Fase I a Nivel Regional	120
	ANEXO 5: Información de Referencia sobre Evaluación de Riesgo a la Salud Humana	122

ÍNDICE

TABLAS

TABLA 1	FUENTES DE INFORMACIÓN	25
TABLA 2	DESCRIPCIÓN DE INFORMACIÓN REQUERIDA PARA CONFORMAR EL LISTADO DE SPPC	26
TABLA 3	MATRIZ PARA LA PRIORIZACIÓN DE SPPC	29
TABLA 4	CÁLCULO PUNTAJE PRIORIZACIÓN	39
TABLA 5	PRINCIPALES CONTAMINANTES ASOCIADOS A ALGUNAS ACTIVIDADES PRODUCTIVAS	50
TABLA 6	EQUIPOS MÁS FRECUENTES DE ANÁLISIS IN SITU DE MUESTRAS SÓLIDAS	62
TABLA 7	EQUIPOS MÁS FRECUENTES DE ANÁLISIS IN SITU DE MUESTRAS GASEOSAS	63
TABLA 8	EJEMPLO DE VALORES DE REFERENCIA	67

ÍNDICE

FIGURAS

FIGURA 1	ACTIVIDADES ASOCIADAS A LA INVESTIGACIÓN Y GESTIÓN DE SUELOS CON PRESENCIA DE CONTAMINANTES	13
FIGURA 2	DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA IDENTIFICACIÓN, PRIORIZACIÓN Y JERARQUIZACIÓN DE SPPC	22
FIGURA 3	ACTIVIDADES PARA LA IDENTIFICACIÓN, PRIORIZACIÓN Y JERARQUIZACIÓN DE LOS SPPC	23
FIGURA 4	ÁRBOL DE DECISIÓN GENERAL PARA LA PRIORIZACIÓN DE SPPC	28
FIGURA 5	DIAGRAMA DE PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN PRELIMINAR SITIO-ESPECÍFICA DEL RIESGO DE SPPC	42
FIGURA 6	ACTIVIDADES PARA LA EVALUACIÓN PRELIMINAR SITIO-ESPECÍFICA DEL RIESGO DE SPPC	43
FIGURA 7	FOTOINTERPRETACIÓN DE UN SPPC	44
FIGURA 8	EJEMPLO DE ESQUEMA CON DESPLAZAMIENTO DE CONTAMINANTES DESDE UNA FUENTE DE CONTAMINACIÓN	46
FIGURA 9	DIAGRAMA DE MODELO CONCEPTUAL GENÉRICO	47
FIGURA 10	TIPOS DE MUESTREO Y MODELOS DE LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO	52
FIGURA 11	PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE MUESTRAS A NIVEL EXPLORATORIO	53
FIGURA 12	ESQUEMA SOBRE SIGNIFICADO Y USO DE VALORES DE REFERENCIA	73

ÍNDICE

FIGURAS

FIGURA 13	COMPARACIÓN CON VALORES DE REFERENCIA	74
FIGURA 14	DIAGRAMA DE PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO Y PLAN DE ACCIÓN DE SPPC	78
FIGURA 15	ACTIVIDADES PARA LA EVALUACIÓN PRELIMINAR SITIO-ESPECÍFICA DEL RIESGO DE SPPC	79
FIGURA 16	ESQUEMA DE MEDIDAS DE CORTO PLAZO DE UN PLAN DE ACCIÓN PARA LA GESTIÓN DE UN SPC	95
FIGURA 17	ESQUEMA PARA LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE REMEDIACIÓN (BASADO EN US EPA.1998)	97
FIGURA 18	RELACIÓN ENTRE CRITERIOS DE EVALUACIÓN PRELIMINAR Y DETALLADA DE ALTERNATIVAS DE REMEDIACIÓN	98
FIGURA 19	CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE REMEDIACIÓN DE SPC	100
FIGURA 20	PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DE REMEDIACIÓN PARA SPC, SEGÚN EL TIPO DE TRATAMIENTO	101



PRÓLOGO

Santiago, Noviembre de 2012

La presente Guía fue elaborada en el marco del proyecto Innova Corfo, "Desarrollo de Herramientas y Estándares de Calidad para la Identificación, Confirmación y Control de Sitios Contaminados, Aplicación Piloto en la Región de Magallanes y Antártica Chilena: Sector Hidrocarburos N°09CN14-5896", donde el Ministerio de Medio Ambiente participa como entidad mandante y oferente; Fundación Chile como desarrollador; la Universidad de Magallanes como co-desarrollador; y la Seremi del Medio Ambiente Región de Magallanes y la empresa ENAP Magallanes como interesados.

Se trata de una Guía simplificada que busca exponer de manera práctica los principales procedimientos involucrados en la gestión de Suelos con Presencia de Contaminantes (SPC), los que fueron ideados con un enfoque basado en los riesgos, principalmente, los asociados a la salud de las personas. Esto implica que los procedimientos para la identificación, evaluación y control de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes 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 suelos en estudio.

De acuerdo con lo anterior, esperamos que esta Guía constituya una herramienta útil, en particular para los funcionarios del Ministerio de Medio Ambiente y sus respectivas Secretarías Regionales Ministeriales, que durante los años venideros trabajarán en la implementación de la Resolución Exenta N° 1.690 que aprobó la metodología para la identificación y evaluación preliminar de suelos abandonados con presencia de contaminantes. Constituyen también potenciales usuarios: el resto de los servicios públicos con competencia ambiental, empresas privadas, propietarios de terrenos, en los que se desarrollan actividades consideradas potencialmente contaminantes, organizaciones no gubernamentales, universidades y la comunidad en general interesada en la gestión de estos suelos.

Las actividades y procedimientos que conforman la presente Guía Metodológica son coincidentes y complementarios a los definidos en la referida Resolución Exenta N° 1690, y se espera que esta Guía sea un real aporte para quienes la implementen.

La División de Recursos Naturales, Residuos y Evaluación de Riesgos agradece la colaboración activa de los profesionales de la Sección de Evaluación de Riesgo y Sustancias Químicas así como también la del equipo de la Gerencia de Agua & Medio Ambiente de Fundación Chile, quienes lograron consolidar la presente Guía en el marco del proyecto Innova Corfo.

Leonel Sierralta Jara
Jefe División de Recursos Naturales, Residuos y Evaluación de Riesgos



1. INTRODUCCIÓN

La presencia de contaminantes en el suelo y las aguas, como factor de degradación de los recursos naturales, puede representar significativos riesgos para otros componentes del medio ambiente. En particular, la contaminación del suelo puede provocar serias consecuencias ambientales, debido a la migración de contaminantes hacia otros componentes ambientales, y por los eventuales efectos nocivos sobre el ecosistema y la salud humana.

Esta materia ha sido reconocida con la promulgación, en enero de 2010, de la Ley 20.417, que modifica la Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, y que introduce al ordenamiento jurídico nuevas competencias legales al Ministerio de Medio Ambiente (MMA). El artículo 70, letra g, establece que es deber del MMA: "Proponer políticas y formular normas, planes y programas en materia de residuos y suelos contaminados, así como la evaluación del riesgo de productos químicos, organismos genéticamente modificados y otras sustancias que puedan afectar el medio ambiente". De esta forma, el Ministerio de Medio Ambiente adquirió nuevas competencias legales en materia de gestión de suelos, que vienen a establecer en un nuevo ámbito el contenido de la garantía constitucional de vivir en un ambiente libre de contaminación.

Anteriormente, el instrumento que se refirió a este aspecto fue la Política Nacional para la Gestión de Sitios con Presencia de Contaminantes (PNSPC), aprobada por el Consejo Directivo de Conama (antecesor del MMA) en agosto de 2009. En el marco de dicha Política, se inició el desarrollo de algunos instrumentos de gestión, tales como la evaluación de riesgo ambiental, planes de remediación, entre otros.

Un hito relevante y reciente en esta materia es la aprobación por parte del Ministerio de Medio Ambiente de la Resolución Exenta N° 1.690, en diciembre de 2011, que aprueba la Metodología para la Identificación y Evaluación Preliminar de Suelos Abandonados con Presencia de Contaminantes. En este documento se define el procedimiento para llevar a cabo parte de las fases que deben desarrollarse cuando se investiga un suelo de este tipo, para ser aplicado por el MMA en el territorio nacional.

La presente Guía metodológica tiene por objetivo definir los procedimientos para estandarizar la investigación de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes en el país, para lo cual se describen las etapas y procedimiento requeridos, en concordancia con el trabajo que ha estado efectuando la autoridad ambiental.

La metodología está compuesta por tres niveles o fases. En el primer nivel se realiza la identificación, priorización y jerarquización sistemática de los Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes (SPPC) a escala regional, de manera de determinar hacia dónde concentrar los esfuerzos de investigación. En el segundo nivel, a escala sitio-específica, se aborda el estudio del sitio propiamente tal en forma más detallada para efectuar una evaluación preliminar sitio-específica del riesgo. Finalmente, el tercer nivel considera la realización de una evaluación del riesgo, que consiste en un estudio a nivel detallado, y un plan de acción para su gestión. Esto último en caso de que se determine un nivel de riesgo relevante.

A continuación se presenta un esquema que resume las distintas actividades asociadas a las fases señaladas.

NIVEL	ACTIVIDADES	PRINCIPALES RESULTADOS
REGIONAL: Identificación, Priorización y Jerarquización	Levantamiento de Información	Actividades Potencialmente Contaminantes por Región
	Identificación y Georreferenciación de SPPC	Listado de SPPC Georreferenciado
	Priorización de SPPC	Listado Priorizado de SPPC
	Inspección de SPPC	Listado de Jerarquizado SPPC
SITIO ESPECÍFICO: Evaluación Preliminar del Riesgo	Investigación Preliminar	Modelo Conceptual de la Situación de Contaminación
	Investigación Confirmatoria	Determinación Cuantitativa de la Presencia de Contaminantes
SITIO ESPECÍFICO: Evaluación del Riesgo y su Gestión	Evaluación de Riesgo Ambiental	Índices de Riesgo
	Plan de Acción	Gestión del Riesgo

FIGURA 1 Actividades Asociadas a la Investigación y Gestión de Suelos con Presencia de Contaminantes

La aplicación de la presente Guía permitirá el levantamiento de información comparable a nivel país y el desarrollo de un diagnóstico nacional de esta problemática ambiental. La información que se obtenga servirá para realizar estadísticas regionales y nacionales de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes, identificar las sustancias químicas presentes en ellos, los tipos de actividades asociadas y los potenciales receptores expuestos. Finalmente, se podrá evaluar y determinar el riesgo que implica su presencia.

Cabe mencionar que los procedimientos definidos en esta Guía pueden ser orientados y aplicados a todos los Suelos con

Potencial Presencia de Contaminantes, o solo a una parte de ellos, como por ejemplo a los suelos abandonados. Este aspecto se destaca debido a que la autoridad ambiental ha definido que su quehacer inmediato estará focalizado a la investigación de suelos abandonados (de acuerdo a lo establecido en la Resolución Exenta N° 1.690), por cuanto tiene competencias directas sobre la gestión de este tipo de suelos.

Es importante mencionar, que la aplicación de esta guía sólo considera como contaminantes en los procesos de identificación, evaluación y control, a las sustancias químicas, y no a los niveles de ruido, vibración, energía o radiación.

2. GLOSARIO

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

Contaminante: Todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, 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).

Daño Ambiental: Toda pérdida, disminución, detrimento o menoscabo significativo inferido al medio ambiente o a uno o más de sus componentes. (LBGMA, art. 2, letra e, Título I).

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 éste 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.

Escenario de Exposición: Área física que comprende el lugar en el cual se derraman o emiten los tóxicos al ambiente, se transportan y donde las poblaciones entran en contacto con los medios contaminantes.

Evaluación de Riesgo Ambiental: Procedimiento de análisis de la contaminación potencial 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. (Res. Ex. N° 1.690/2011).

Evaluación Preliminar: Evaluación que se realiza sobre la base de una cantidad acotada de datos y de ciertos supuestos. Los objetivos principales de esta evaluación son el proporcionar una base científica sobre la cual decidir si un sitio puede ser excluido de aquellos que merecen atención, identificar situaciones de riesgo que puedan requerir atención inmediata (en la forma de una acción de respuesta anticipada), y determinar si es preciso realizar una evaluación adicional más detallada. (Res. Ex. N° 1.690/2011).

Exposición: Proceso mediante el cual las personas o el ecosistema entran en contacto con una sustancia o agente tóxico. (Res. Ex. N° 1.690/2011).

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.

Gestión de riesgo: Proceso orientado a decidir si un riesgo evaluado es lo suficientemente significativo como para representar un problema de orden público, y establecer las acciones y los medios apropiados para su control, mitigación o reducción. (Res. Ex. N° 1.690/2011).

Modelo Conceptual: 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. (Res. Ex. N° 1.690/2011).

Nivel Basal o Nivel Background: concentración natural de un elemento químico en un suelo que no ha sido alterado por la actividad humana, localizado en las cercanías del suelo y/o sitio con presencia de contaminantes.

Peligro: Se refiere a la capacidad intrínseca de las sustancias para causar daño. El término "peligroso" define la capacidad de una sustancia de producir efectos adversos en los organismos.

Población Vulnerable: Individuos o grupos de personas que pueden presentar mayor daño por exposición a un agente en concentraciones o niveles que han sido considerados seguros para toda la población.

Puntos de Exposición: Lugares 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).

Remediación: Reducción del riesgo a la salud humana y/o medio ambiente a niveles aceptables. La forma e intensidad de la intervención quedará establecida en función del tipo y detalle de la evaluación de riesgo realizada en el sitio.

Riesgo: Probabilidad de ocurrencia de un efecto adverso en las personas o el ecosistema. (Res. Ex. N° 1.690/2011).

Riesgo Aceptable: probabilidad 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.

Ruta de Exposición: Trayectoria que sigue la sustancia tóxica, desde la fuente de emisión hasta el contacto con las poblaciones y/o biota previamente seleccionadas como potencialmente expuestas, incluyendo la vía de ingreso del tóxico a los organismos expuestos. (Res. Ex. N° 1.690/2011).

Sistemas de Información Geográfico (SIG): Sistema compuesto por una parte física (hardware), un programa de aplicación (software), datos (mapas, fotos imágenes, otros) y una parte activa (liveware), destinado al tratamiento de los datos referenciados espacialmente. Este sistema manipula los datos espaciales permitiendo recuperar, combinar y efectuar diversos tipos de análisis. En el marco de la gestión de SPPC, los SIG se emplean para ayudar al proceso de análisis de la información como herramienta de apoyo a la toma de decisiones.

Suelos con Presencia de Contaminantes (SPC): Lugar delimitado geográficamente que mediante una evaluación de riesgo ambiental se ha determinado que existe nivel de riesgo relevante para las personas o al medio ambiente.

Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes (SPPC): Lugar o terreno delimitado geográficamente en el que se desarrollan o han desarrollado actividades potencialmente contaminantes. Incluye a suelos abandonados y activos o en operación.

Suelos Abandonados con Potencial Presencia de Contaminantes (SAPPC): Lugar o terreno delimitado geográficamente que ha sido impactado ambientalmente por una actividad potencialmente contaminante que ha cesado sin la implementación de una adecuada fase de cierre. (Res. Ex. N° 1.690/2011).

Suelos Abandonados con Presencia de Contaminantes (SAPC): Lugar o terreno delimitado geográficamente, donde, mediante una evaluación de riesgo ambiental se ha determinado que existe un nivel de riesgo relevante, comprometiendo el orden público, respecto del cual no es posible hacer efectiva la responsabilidad de quien lo causó. (Res. Ex. N° 1.690/2011).

Sustancia Peligrosa (o producto peligroso): Aquella que, por su naturaleza, produce o puede producir daños momentáneos o permanentes a la salud humana, animal o vegetal, a los bienes y/o medio ambiente y que se encuentran listadas en la Norma Chilena N° 382. Of2004. (Res. Ex. N° 1.690/2011).

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. (Res. Ex. N° 1.690/2011).

Vía de Exposición: Mecanismo por medio del cual un contaminante entra al organismo (ingestión, inhalación, contacto dérmico). (Res. Ex. N° 1.690/2011).

Vulnerabilidad: Expresa el grado de susceptibilidad a sufrir un daño, ya sea como resultado de las variaciones externas de exposiciones a ese peligro o debido a las variaciones internas en la habilidad para lidiar con sus impactos.

3. ALCANCES

- De acuerdo a la definición de contaminante dada en el capítulo anterior y a lo señalado en la introducción, no se considerará dentro de la identificación, evaluación y control de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes, a los niveles de ruido, vibración, energía o radiación. Las etapas están focalizadas a Suelos con Potencial Presencia de Sustancias Químicas, entendiéndose por estas a todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o una combinación de ellos.
- Los procedimientos que se definen en el documento se basan en la aplicación de un enfoque basado en los riesgos, principalmente, a la salud de las personas. Aspectos relativos a efectos en el ecosistema son considerados de forma muy preliminar.
- Los resultados del proceso están condicionados a la disponibilidad de datos e información ambiental, en cuanto a cantidad, calidad, cobertura y resolución (para el caso de los datos espaciales).
- La identificación y priorización de SPPC son procesos dinámicos, mientras que las fuentes de información, en su mayoría, son estáticas. Esto provoca que cuando se realizan inspecciones en terreno se observan cambios de direcciones, de giros de actividades económicas, empresas que ya no existen, entre otros. Por este motivo, se recomiendan (i) documentar el proceso cada vez que se efectúe, de manera de permitir revisar todos los antecedentes y (ii) aplicar la metodología con regularidad, con el propósito de efectuar seguimiento de la situación general.



FASE I

21



FASE II

41



FASE III

77

4.FASE I

Identificación, Priorización y Jerarquización
de Suelos con Potencial Presencia
de Contaminantes



4. FASE I: Identificación, Priorización y Jerarquización de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes

4.1 Esquema de Trabajo o Procedimiento de la Fase I

En la Figura 2 se presenta un diagrama de flujo con las etapas que deben efectuarse para lograr la identificación, priorización y jerarquización de los Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes.

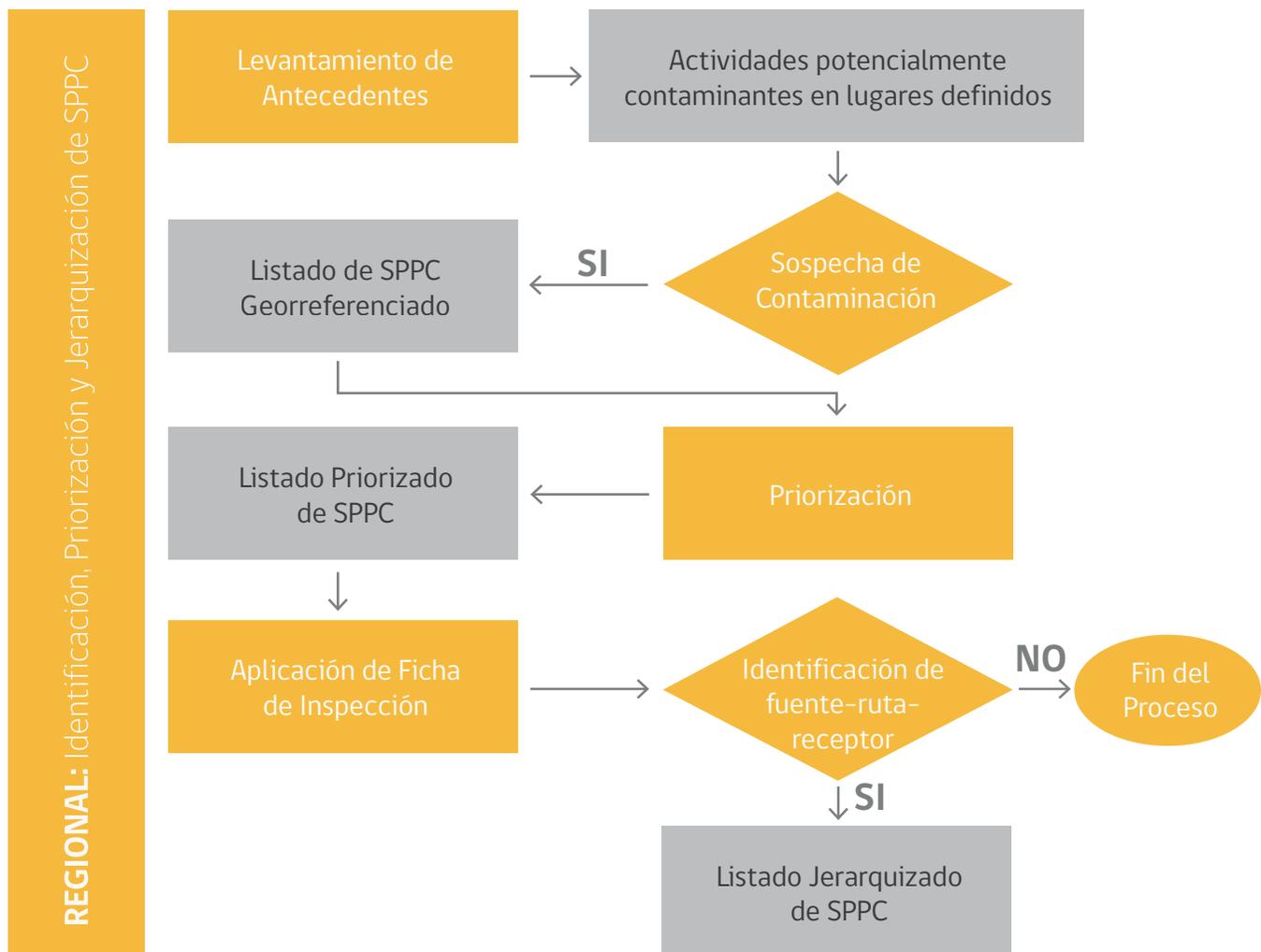


FIGURA 2 Diagrama de Flujo para la Identificación, Priorización y Jerarquización de SPPC

4.2 Metodología de Trabajo

Para implementar la Fase I, la metodología considera el desarrollo de cuatro actividades principales, las que se presentan en la Figura 3.

NIVEL	ACTIVIDADES	PRINCIPALES RESULTADOS
REGIONAL: Identificación, Priorización y Jerarquización	Levantamiento de Información	Actividades Potencialmente Contaminantes por Región
	Identificación y Georreferenciación de SPPC	Listado de SPPC Georreferenciado
	Priorización de SPPC	Listado Priorizado de SPPC
	Inspección de SPPC	Listado de Jerarquizado SPPC

FIGURA 3 Actividades para la Identificación, Priorización y Jerarquización de los SPPC

4.2.1 Actividad 1: Levantamiento de Información

El levantamiento de información debe efectuarse para determinar los lugares donde exista o se haya desarrollado alguna actividad productiva definida como potencialmente contaminante, utilizando el siguiente supuesto principal:

“La actividad productiva debe estar asociada a la producción, uso, manipulación, almacenamiento o disposición de sustancias o residuos peligrosos, con la generación de contaminantes en concentraciones susceptibles de causar un impacto negativo en el ambiente”.

Los sectores productivos que presentan mayor probabilidad de generar Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes han sido ampliamente descritos por diferentes organismos internacionales, entre los que se cuentan la Organización Panamericana de la Salud (OPS), el Instituto IHOBE del Gobierno Vasco, la Secretaría de Medio Ambiente de Brasil y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA).

A nivel nacional, y en términos generales, los sectores, rubros o actividades productivas donde se producen, utilizan manipulan, almacenan o disponen sustancias o residuos peligrosos que pudieron derivar en la generación de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes, son los siguientes (Res. Ex. 1.690):

- Actividades mineras;
- Refinerías de petróleo;
- Fundiciones, termoeléctricas y metalúrgicas;
- Almacenamiento de plaguicidas;
- Industrias manufactureras potencialmente contaminadas;¹
- Industrias artesanales potencialmente contaminadoras;
- Rellenos y/o vertederos;
- Botaderos clandestinos y confinamiento de residuos;
- industriales;
- Zonas de derrames o accidentes químicos ambientales;
- Almacenamiento transitorio de residuos peligrosos;
- Aserraderos y cepilladura de madera;
- Otras.

Respecto a la recopilación de información, el Instituto Nacional de Estadística (INE)² cuenta con un registro de todas las actividades productivas existentes a nivel regional, con su respectivo Código Industrial Internacional Uniforme (CIIU)³, el cual corresponde a una clasificación estandarizada de dichas actividades. Es aconsejable revisar siempre esta fuente de información cuando se quieren identificar SPPC activos.

1 Donde existe manejo de productos potencialmente tóxicos se generan residuos peligrosos y/o existe probabilidad de derrames.

2 www.ine.cl

3 Clasificador de Actividades "CIIU.cl": Documento Final Comité Técnico Interinstitucional de Nomenclaturas. Preparado para ser presentado a la Tercera Reunión de la Comisión Nacional de Estadísticas. Julio de 2003.

Son relevantes los informes y documentos disponibles en los Órganos de la Administración del Estado con competencia ambiental, o sectoriales relevantes, tales como: resoluciones, actos administrativos en general, listados o catastros sectoriales, base de datos ambientales, estudios técnicos, procedimientos por denuncias y sanciones, información sobre incidentes ambientales u otros.

Las principales instituciones que pueden ser consultadas son: Ministerio de Salud (Minsal), Servicios de Salud, Ministerio de Medio Ambiente (MMA), Superintendencia de Medio Ambiente (SMA), Ministerio de Minería, Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin), Ministerio de Bienes Nacionales, Ministerio de Obras Públicas, Ministerio de Energía, Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), Oficina Nacional de Emergencias del Ministerio del Interior (Onemi), Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), Compañía de Bomberos locales, Policía de Investigaciones (Brigada de Delitos Medio Ambientales), Servicio Agrícola y Ganadero (SAG),

Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), y Dirección General de Territorio Marítimo y de Marina Mercante (Directemar), Municipalidades, entre otros.

Tales documentos e informaciones pueden ser solicitados mediante comunicación formal, o en las oficinas de información a la ciudadanía respectivas. Es recomendable guardar constancia de las solicitudes de información y sus respuestas.

Adicionalmente, existen fuentes complementarias de información privadas, como las generadas por Asociaciones Gremiales, Cámaras de Comercio, Agencias Regionales de Desarrollo Productivo, entre otras.

A continuación, se presenta un listado con fuentes de información disponibles a la fecha de la elaboración de la presente Guía, que pueden ser consultadas. Cabe mencionar que este listado no es exhaustivo y debe ser complementado con información adicional disponible a nivel regional.

INSTITUCIÓN	DOCUMENTO	DESCRIPCIÓN	CONTACTO	AÑO
Instituto Nacional de Estadísticas	Directorio Industria Manufacturera	Base de datos de Industrias Manufactureras por región.	http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_economicas/industria/series_estadisticas/series_estadisticas_enia.php	2009 (Información que se actualiza cada dos años)
Servicio de Evaluación Ambiental	Servicio de Evaluación Ambiental	Levantamiento de información de empresas que han presentado proyectos al sistema.	http://www.sea.gob.cl/contenido/centro-de-documentacion	
Seremi de Salud	Identificación de generadores de residuos peligrosos		http://soa.idbc.cl/seremi/IngresoOIRSPasoUno.do?accion=init	
Servicio Agrícola y Ganadero	Almacenamiento de plaguicidas		http://www.sag.cl/OperenDocs/asp/pagDefault.asp?boton=Doc56&argInstanciald=56&argCarpetaId=570&argTreeNodosAbiertos=(0)&argTreeNodoSel=570&argTreeNodoActual=570	

Servicio Nacional de Geología y Minería	Actualización Catastro de Faenas Mineras Abandonadas y Paralizadas 2010: Análisis Preliminar de Riesgos		www.sernageomin.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=109&Itemid=143	2010
Ministerio de Medio Ambiente	Listado de Ecosistemas Hídricos Priorizados		www.mma.gob.cl/1257/w3-propertyvalue-16008.html	
Ministerio de Medio Ambiente	Reportes del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (2005-2008)	Base de datos nacional y regional que incluye información asociada a los siguientes componentes: AIRE: inventarios de fuentes fijas atmosféricas, y móviles del sector transporte. AGUA: registro del cumplimiento de las normas vigentes. CONVENIOS INTERNACIONALES: Inventarios de sustancias agotadoras de ozono, cambio climático, sustancias químicas RESIDUOS: registro de la naturaleza, volumen y destino de los residuos sólidos generados.	www.conama.cl/retc/1279/channel.html	2005-2010
Superintendencia de Servicios Sanitarios	Boletín de Sanciones a Establecimientos Industriales	Boletín que informa los tipos de infracciones (calidad del servicio, incumplimiento de instrucciones y riles) en que incurren las empresas sanitarias y establecimientos industriales.	http://www.siss.gob.cl/577/w3-propertyvalue-3449.html	2010-2011
Ministerio de Medio Ambiente (ex Conama)	Catastro de Industrias Químicas XII Región	Se detalla a las empresas especificando: nombre de empresa, persona de contacto, teléfono y e-mail.	http://www.mma.gob.cl/1257/w3-article-49422.htmlwww	
Ministerio de Medio Ambiente (ex Conama) Región de Magallanes y la Antártica Chilena	Diagnóstico y propuesta de recuperación en antiguos sitios de disposición final de residuos		http://www.mma.gob.cl/1257/w3-article-49422.htmlwww	2006

TABLA 1 Fuentes de Información

4.2.2 Actividad 2: Identificación y Georreferenciación de Suelos

Una vez concluida las actividades de levantamiento de información se procederá a organizar la información en un repositorio documental, para luego generar el Listado de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes. En este listado se incorporarán sólo a las instalaciones o actividades potencialmente contaminantes, las que se indican en ANEXO 1.

El Listado de Suelos con Potencial Presencia de Contaminan-

tes de la región debe incluir la siguiente información: Identificación Numérica de la Región y Comuna, Glosa de la comuna, Coordenadas UTM, Razón Social y/o Nombre Asignado al SPPC, Glosa CIU Rev.3 y Número identificador CIU Rev.3 (en el caso de SPPC activos), Proceso(s) Productivos Potencialmente Contaminante(s), Dirección y/o referencia (antecedentes sobre su ubicación), Teléfono y una columna destinada a Observaciones, tal como se detalla en la siguiente Tabla.

NOMBRE DE LA COLUMNA	DESCRIPCIÓN
Código Región	Número identificador de la región.
Código Comuna	Número identificador de la comuna.
Glosa de la Comuna	Nombre de la comuna.
Coordenada X	Coordenada Este.
Coordenada Y	Coordenada Norte.
Razón Social y/o Nombre Asignado al SPPC	En el caso de SPPC activos generalmente corresponde al nombre de la empresa, en el caso de SPPC abandonados puede corresponder al nombre de la empresa que lo originó, titular, localidad, entre otros. Debe seleccionarse un nombre con el que se identificará al SPPC dentro del proceso.
Descripción de la Actividad. Glosa CIU Rev.3 (SPPC activos)	Nombre de la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIU) a la cual pertenece la actividad.
Clase CIU Rev.3 (SPPC activos)	Número identificador de la actividad dada por la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIU).
Actividad(es) Potencialmente Contaminante(s)	Nombre de la(s) actividad(es) que se sospecha pueden provocar la contaminación.
Dirección y/o referencia	Dirección de la actividad productiva que incluya, de ser posible, al menos nombre de calle y numeración.
Teléfono	Número de teléfono de la Empresa o Persona Natural.
Observaciones	Campo destinado a complementar la información recopilada con otra información relevante.

TABLA 2 Descripción de Información Requerida para Conformar el Listado de SPPC

En caso de no contar con las coordenadas (geográficas o UTM) del SPPC en estudio, es posible utilizar el software Google Earth para obtenerlas, a partir de la dirección. Este software es de libre disposición en internet, de fácil uso, y puede ser descargado del siguiente link: www.earth.google.es.

En ANEXO 2 se presenta el detalle de cómo obtener las coordenadas a través de este software.

4.2.3 Actividad 3: Priorización de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes

Es probable que se identifiquen, a nivel regional, una gran cantidad de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes, por lo cual se hace necesaria su priorización, en base a criterios ambientales y demográficos relacionados con el riesgo ambiental. Esta priorización permitirá definir los lugares en los que deben comenzar las inspecciones de terreno posteriores.

La Res. Ex. Nº 1.690 considera cuatro variables relevantes para efectuar el proceso de priorización:

A. Población Residente: Población humana expuesta a un foco de contaminación en el suelo debido a que reside en él o en sus cercanías, a través de una o más rutas de exposición. Esta variable es la de mayor importancia, y está ponderada por el radio de cobertura de los impactos de un Suelo con Potencial Presencia de Contaminantes. Según las evaluaciones de instituciones internacionales (Elliott et al., 2001; OMS, 2000), los lugares con contaminantes pueden causar problemas en la salud de poblaciones ubicadas a una distancia de hasta 2 km. Esta área, considerada de mayor riesgo, depende de las características de transporte y movilización, así como de la forma de disposición o acondicionamiento de los contaminantes.

B. Sistemas Hídricos: Éstos corresponden a las aguas superficiales y subterráneas. Las aguas superficiales son aquellas que se encuentran naturalmente a la vista del ser humano y pueden ser corrientes, es decir, que escurren por cauces naturales o artificiales; o detenidas, definidas como aquellas que están acumuladas en depósitos naturales o artificiales, tales como lagos, lagunas, pantanos, charcas, aguadas, ciénagas, estanques o embalses. Las aguas subterráneas son aquellas que se encuentran bajo la superficie del terreno en la zona saturada y en contacto directo con el suelo y/o subsuelo.

C. Uso de Suelo: Aquella destinación que el ser humano otorga al territorio en el cual se encuentra emplazado. Para efectos de la priorización, esta variable considera tres usos principales: agrícola, recreacional e industrial/comercial⁴.

D. Ecosistemas Sensibles o de Alta Relevancia: Aquellos que poseen al menos una especie vegetal o animal en alguna categoría de conservación; áreas protegidas por parte del Estado y/o ecosistemas de alta relevancia por la función ambiental o servicio ecosistémico que prestan.

Una vez definida e identificada la forma en que se presentan las variables precedentes en el suelo, éste se clasificará dentro de las prioridades siguientes: "alta", "mediana", "moderada", "baja", o directamente "no priorizado". Para efectuar esta clasificación se deberán tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) La presencia de población residente es la variable de mayor relevancia y se ponderará en base a la distancia:
 - a. En caso que las personas, independiente de su número, den al suelo un uso residencial, en un radio igual o inferior a dos kilómetros a partir del suelo en estudio: se le asignará una prioridad alta.
 - b) Desde 2 a 3 kilómetros: se asignará mediana prioridad.
2. La presencia de Sistemas Hídricos (agua superficial o subterránea):
 - i. En el caso de que el agua superficial o subterránea, independiente de la distancia o profundidad, sea una fuente de agua potable para una población, se le asignará una prioridad alta.
 - ii. En caso contrario, se asignará una mediana prioridad.
- c) El suelo destinado a un uso agrícola, recreacional o industrial tiene asociado una prioridad moderada.

4 En esta variable no se considera el uso residencial del suelo, debido a que dicho uso es evaluado en la variable población residente.



d) En caso de una posible afectación a los ecosistemas sensibles o de alta relevancia se asigna una prioridad baja.

En caso de que ninguna de estas variables se presente en el suelo en estudio, éste se categorizará como "no priorizado".

De acuerdo a lo señalado previamente, las variables Sistemas Hídricos, Uso de Suelo y Ecosistemas Sensibles no tienen asociado una distancia al SPPC en el proceso de priorización, debido a que se estima que en cada caso debe evaluarse el

posible efecto del SPPC en dichas variables. De todas formas, a modo de referencia, puede considerarse que 3 km (criterio empleado para la variable población residente) es la distancia máxima en la que las variables podrían verse afectadas por la presencia de contaminantes en un SPPC cercano, aun cuando se recalca que esto debe ser analizado en cada caso, de acuerdo a la situación específica de la que se trate.

El proceso de priorización puede ser efectuado a través de un esquema de trabajo denominado Árbol de Decisión, técnica de fácil y rápida aplicación, la cual permite analizar decisiones secuenciales basadas en el uso de resultados y probabilidades asociadas.

El Árbol de Decisión General que se genera a partir de la descripción anterior se presenta en la siguiente Figura.

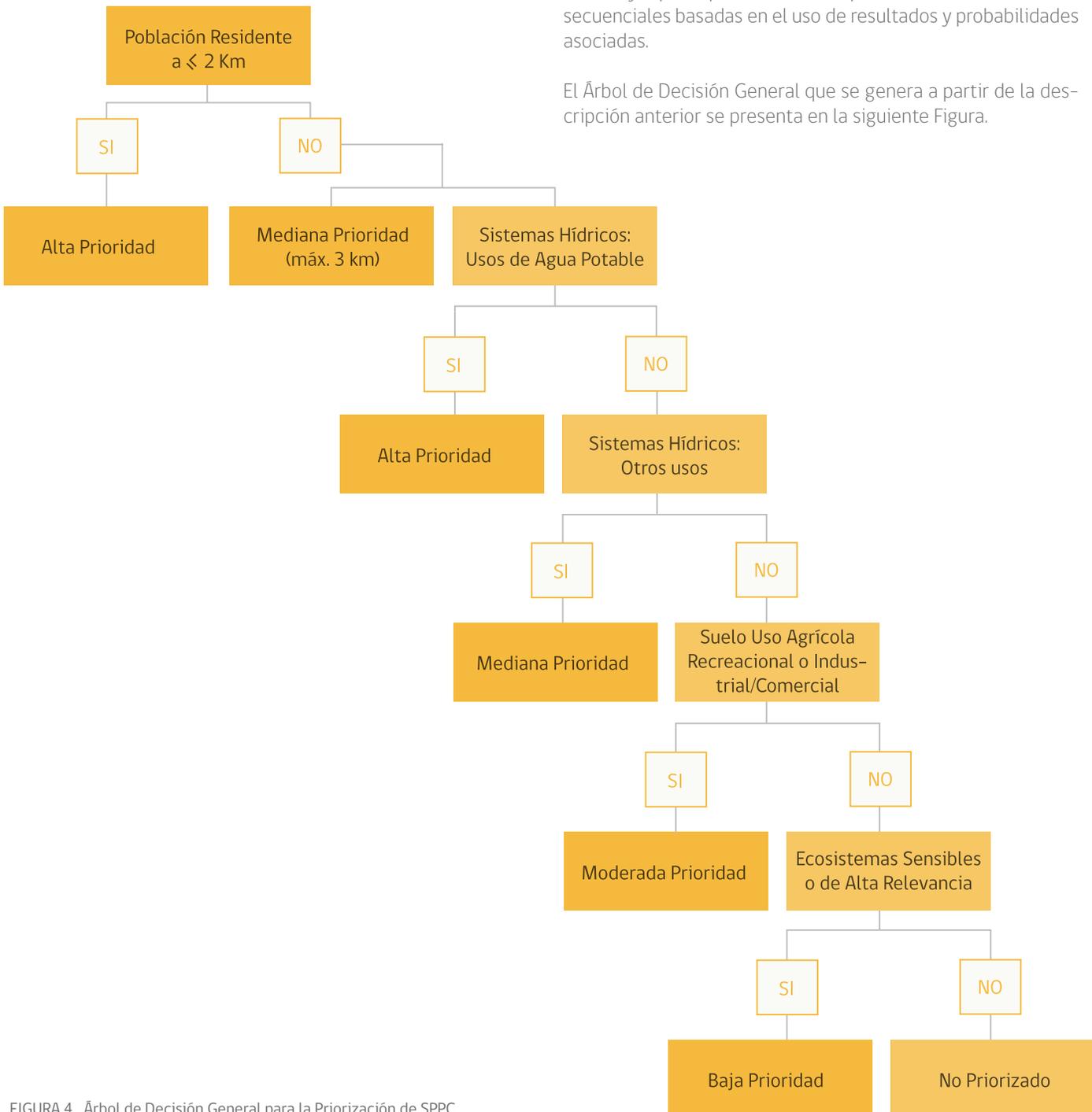


FIGURA 4 Árbol de Decisión General para la Priorización de SPPC

Cuando algunas de las variables consideradas en el proceso de priorización se presentan en forma simultánea, la clasificación estará dada por la variable de mayor relevancia. Para facilitar esta determinación, a continuación se presenta una tabla o matriz para la categorización de los SPPC, la que puede ser empleada como una herramienta complementaria al Árbol de Decisión.

VARIABLES PARA LA PRIORIZACIÓN EN EL SPPC						
Población a ≤ de 2 km	Población a > 2 km y ≤ 3 km	Sists. Hídricos para Agua Potable	Sists. Hídricos para Otros Usos	Uso de Suelo Agrícola, Recreacional, Indust./Com.	Ecosistemas Sensibles	Clasificación
x						Alta Prioridad
x		x				Alta Prioridad
x			x			Alta Prioridad
x				x		Alta Prioridad
x					x	Alta Prioridad
x		x	x			Alta Prioridad
x		x		x		Alta Prioridad
x		x			x	Alta Prioridad
x		x	x	x		Alta Prioridad
x			x	x		Alta Prioridad
x			x	x	x	Alta Prioridad
x		x	x	x	x	Alta Prioridad
	x					Mediana Prioridad
	x	x				Alta Prioridad
	x		x			Mediana Prioridad
	x			x		Mediana Prioridad
	x				x	Mediana Prioridad
	x	x	x			Alta Prioridad
	x	x		x		Alta Prioridad
	x	x			x	Alta Prioridad
	x	x	x	x		Alta Prioridad
	x		x	x		Mediana Prioridad
	x		x	x	x	Mediana Prioridad
	x	x	x	x	x	Alta Prioridad
		x				Alta Prioridad
		x	x			Alta Prioridad
		x		x		Alta Prioridad
		x			x	Alta Prioridad
		x	x	x		Alta Prioridad
		x		x	x	Alta Prioridad
		x	x	x	x	Alta Prioridad
			x			Mediana Prioridad
			x	x		Mediana Prioridad
			x		x	Mediana Prioridad
			x	x	x	Mediana Prioridad
				x		Moderada Prioridad
				x	x	Moderada Prioridad
					x	Baja Prioridad
						No Priorizado

TABLA 3 Matriz para la Priorización de SPPC
Fuente: Elaboración propia



4.2.4 Actividad 4: Inspección de Suelos

Para emplear de manera eficiente los recursos disponibles, esta actividad debe efectuarse en orden sucesivo en los Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes que presenten mayor prioridad, de acuerdo al procedimiento detallado en el capítulo previo, para luego incorporar aquellos con clasificaciones inferiores.

4.2.4.1 Ficha de Inspección

La inspección puede efectuarse a través de la aplicación de una Ficha de Inspección, herramienta que permite guiar el reconocimiento inicial de un suelo en terreno, identificando los aspectos más relevantes sobre la base de un enfoque de riesgo. El principal objetivo de su utilización es orientar la inspección de manera de recabar la información relativa a cómo se ha desarrollado una actividad potencialmente contaminante, e inferir, a nivel general, el impacto de ésta en su entorno.

En esta Guía metodológica se ha confeccionado una Ficha específica para ser aplicada en el presente procedimiento, denominada "Ficha de Inspección de SPPC", la que se presenta en el ANEXO 3. Corresponde a una adaptación de la Ficha generada en 2004, la que en ese entonces fue elaborada considerando la experiencia de CETESB (Brasil-CETESB, 1999), US EPA (fase de evaluación preliminar - PA preliminar assessment), México (Díaz Barriga, 1999) y España (Junta de Residuos, 1998). La adaptación considera la experiencia de aplicación de la Ficha durante estos últimos años en el país, lo que ha dejado de manifiesto la necesidad de simplificar la herramienta y adaptarla a la realidad nacional.

La Ficha está orientada al levantamiento de información que permita suponer o no la existencia de un riesgo para la salud de las personas, en cuyo caso es posible asignar un puntaje relacionado con el nivel preliminar de riesgo identificado en el SPPC. Su aplicación permite enfocar la inspección hacia la determinación de la presencia de fuente(s) de contaminación, de vía(s) de exposición y de población humana eventualmente expuesta a los contaminantes, es decir, corroborar la existencia de los tres eslabones básicos necesarios para que manifieste un riesgo (fuente-ruta-receptor).

La asignación de puntajes en los ítems relacionados directamente con el riesgo a la salud de la población permite obtener un puntaje total o final que entrega un valor de riesgo relativo (por comparación), es decir, permite que entre una cierta cantidad de suelos, se identifiquen cuáles son los más urgentes de seguir investigando. De esta forma, el puntaje facilita la jerarquización de los suelos inspeccionados en orden de importancia en cuanto al nivel de riesgo preliminar a la salud.

Cabe señalar que esta Ficha no se aplica a SPPC donde la contaminación es difusa, es decir, que abarca grandes áreas geográficas, o proviene de fuentes no identificables y que no está diseñada para evaluar futuras actividades. No obstante, con las debidas reservas se pueden utilizar como guía para ello.

I. Sobre el Llenado de la Ficha

La Ficha de Inspección de SPPC considera el levantamiento de información general y específica del SPPC. Parte de esta información puede ser levantada en gabinete y otra en terreno una vez que se efectúa la visita de inspección. Debido a que la cantidad de información con la que se cuenta sobre un SPPC depende de cada sitio en particular (puede tratarse de un SPPC ya investigado previamente, en el que se han efectuado estudios, ya sea por parte de universidades, organismos públicos, ONG u organismos privados, o puede tratarse de un SPPC nunca antes identificado o investigado), no es posible establecer a priori que secciones de la Ficha deben ser llenadas en forma previa a la inspección, y cuales debieran ser completadas posteriormente en terreno. Esto último además depende del trabajo investigativo que efectúe(n) quien(es) está(n) a cargo del llenado de la Ficha.

En términos generales, para el llenado de la Ficha se contempla la ejecución de tres etapas sucesivas. La primera consiste en la recopilación, en gabinete, de la mayor cantidad de información posible relativa al SPPC, esto previo a la inspección. La segunda corresponde a la realización de la visita de inspección con el fin de corroborar la información con la que hasta ese momento se cuenta y para levantar información adicional. En la tercera etapa y final, en gabinete, es necesario revisar toda la información con la que se cuenta, cotejar los antecedentes, recopilar aquellos que faltan y proceder finalmente al llenado de todos los campos y al cálculo del puntaje.

Los antecedentes que, en lo posible, deben ser recabados previamente a la inspección, son:

Las actividades productivas que se han desarrollado en el SPPC y que hacen suponer la potencial presencia de contaminación. Es importante conocer a nivel general los procesos involucrados en la actividad productiva y los contaminantes asociados a la actividad (para esto último, emplear la Tabla 5 de este documento como referencia).

- El medio físico en el que se emplaza el SPPC, como la presencia de cursos de agua superficial, la existencia de agua subterránea, de áreas de protección, entre otra información relevante.

- La presencia de potenciales receptores que pudieran verse expuestos a la contaminación, como poblados cercanos, o actividades productivas que se desarrollan en el SPPC o en sus inmediaciones (la presencia de actividades recreacionales, agropecuarias, pesqueras, áreas protegidas, entre otras).
- Ubicación detallada de las instalaciones presentes en el SPPC, para esto es deseable contar con un mapa del SPPC.

Esta información puede ser consultada en las fuentes de información citadas en los acápite 4.2.1 y 5.2.1.2 de este documento.

Respecto de la cantidad de información que debe ser incorporada en la Ficha, se destaca que todos los campos que la conforman se consideran relevantes de completar, aun cuando estos no tengan incidencia directa en el puntaje final. De todas formas algunos numerales asociados a campos específicos de la Ficha han sido destacados con color gris, lo que simboliza que su llenado es obligatorio. Pese a esto, es posible que alguno de estos campos considerados obligatorios, no sean posibles de llenar en todos los casos (por ejemplo el punto 4.6, en el que debe señalarse cómo fue establecida la profundidad del agua subterránea, se considera obligatorio, porque es una información muy relevante en caso de que exista, sin embargo no es posible completarlo en caso de que en el SPPC no cuente con agua subterránea).

De acuerdo a lo expuesto previamente, queda de manifiesto que la aplicación de la Ficha debe ser efectuada por un equipo de profesionales técnicamente idóneo, y con formación y experiencia en temáticas ambientales, con el fin de completar la Ficha de forma adecuada y aplicar criterio profesional cuando corresponda.

La Ficha de Inspección de SPPC está compuesta por ocho ítems principales que se describen a continuación.



II. Contenido de la Ficha

Este ítem permite recopilar antecedentes globales de la empresa o terreno que servirán para tener una primera aproximación de la situación que se está evaluando. Parte de la información puede llenarse en gabinete y luego ser validada en terreno, debido a que algunos de los antecedentes que se deben registrar son ya conocidos.

La información general se encuentra subdividida en cuatro secciones:

A. Identificación del SPPC: Como primera actividad se debe indicar en el punto 1.1 de la Ficha el Nombre del SPPC, es importante que este sea el mismo que se ha asignado al SPPC en las etapas previas de este proceso (etapas de identificación y priorización). En el caso de SPPC activos generalmente corresponde al nombre de la empresa, en el caso de SPPC abandonados puede corresponder al nombre de la empresa que lo originó, titular, localidad, entre otros. Es común que SPPC abandonados tengan distintos nombres, de acuerdo a la fuente de información que se consulte, razón por la cual es importante consignar en el punto 1.2 de la Ficha los Otros nombres asignados al SPPC. Luego debe señalarse el (los) Nombre(s) de la(s) empresa(s) que se emplazó (emplazaron) en el lugar y que dio (dieron) origen al SPPC, en el caso que sea posible, dado que a veces esto no es conocido y no siempre una actividad productiva es la que originó el SPPC. Posteriormente debe indicarse la Dirección (en caso de que sea un lugar poblado y por tanto tenga una dirección asociada), Comuna, Región, Código CIU de la actividad visitada, en el caso de que se trate de un SPPC activo, y las Coordenadas Este y Norte (en sistema WGS84, HUSO 19). Este último dato es muy importante, debido a que permite la localización del SPPC, y a que se mantiene más o menos constante, independiente de la fuente de información que se consulte (dependiendo del error asociado del instrumento de medición de coordenadas que se empleó en cada caso). De esta forma, en caso de que en una fuente de información el SPPC sea identificado con un nombre distinto al que se está empleando en el proceso, por medio de las coordenadas es posible determinar que se trata del mismo SPPC. Se debe tener presente que las coordenadas pueden ser medidas en otros sistemas de coordenadas, en cuyo caso, deben ser convertidas al sistema considerado en esta Ficha.

B. Información de la Inspección: Esta sección permite generar un registro temporal y nominativo de la aplicación de la Ficha, ya que considera la inclusión de la **Fecha de inspección** y de los datos de los evaluadores (**Nombre, Institución, Cargo, Correo electrónico y Fono**).

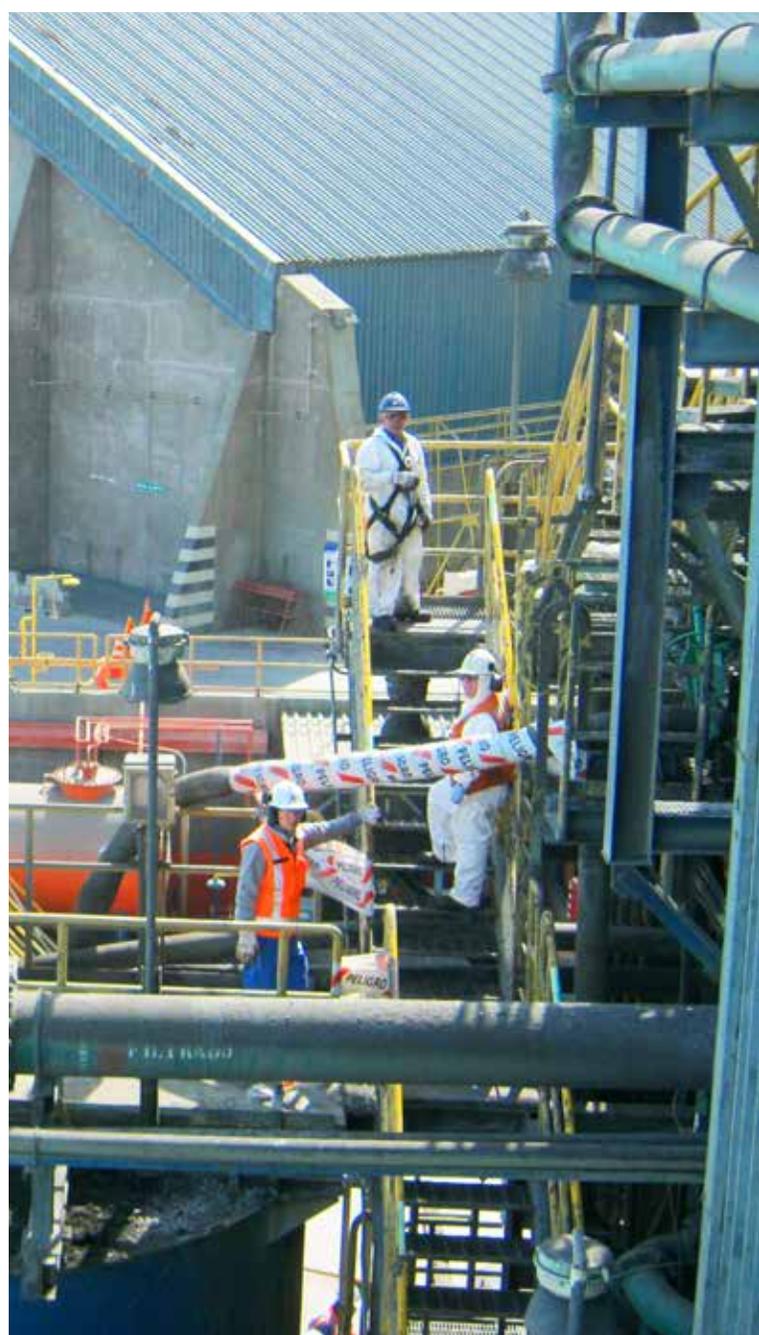
C. Información de los Entrevistados: El éxito de la aplicación de la Ficha muchas veces depende de la presencia de alguien que conozca el terreno y/o de las actividades productivas que se desarrollaron en el SPPC, mientras se realiza la inspección. La presencia de un entrevistado con estos conocimientos es deseable, dado que permite recabar antecedentes con mayor facilidad e incluso recopilar algunos que de otra forma no son posibles de conocer. Debe tenerse en cuenta que en los SPPC abandonados la presencia de un entrevistado no siempre es posible, no obstante debe hacerse el intento por conseguir al menos uno que participe en la inspección.

Esta sección incluye el **Nombre** de los entrevistados, su **Relación con el SPPC**, es decir, si es un habitante aledaño, un trabajador actual o pasado, el dueño de la empresa o terreno, un representante de la municipalidad u otra institución pública con conocimientos sobre el SPPC u otra relación. Se debe señalar también la **Institución/Cargo/Función** a la cual pertenece o perteneció el entrevistado, en caso que aplique, su **Correo electrónico y Fono**, para poder contactarlo posteriormente, y una celda de **Observaciones**, con el propósito de rescatar alguna otra información relevante que no esté siendo considerada en la sección.

Es posible que los entrevistados quieran mantener el anonimato y no entregar información que permita identificarlos y contactarlos, razón por la cual no es obligatorio completar este campo. Sin embargo, debe tenerse presente que su identificación es deseable, debido a que permite otorgar mayor trazabilidad, validez y veracidad a la información que se entrega.

D. Características Generales de la Empresa o Terreno: Esta sección recopila los antecedentes generales de la empresa para conocer su historia, y el desarrollo de su actividad productiva habitual y/o de las actividades generadas en el pasado.

De acuerdo a lo anterior, en esta sección se registra la siguiente información: **Tipo de propiedad** (fiscal o privada) y si esa propiedad se considera un **Área protegida**; el **Nombre del(los) propietarios** (persona natural, sociedad u otro); **Área aproximada del SPPC** (en unidades de hectáreas). En el caso de SPPC activos o en operación, en general el área está dada por los límites de la propiedad, que en general cuentan con un cerco u otra delimitación. En el caso SPPC abandonados, los límites pueden estar dados por la propiedad, o por consideraciones geográficas. Para ello, se pueden tomar en cuenta las divisorias de agua como posibles límites (microcuencas o quebradas) o bien alguna barrera natural o artificial, tales como cerros, afloramientos rocosos, caminos, vía férrea, entre otros. Otra información que debe ser registrada en esta sección es el **Estatus del SPPC** (inactivo o activo y desde que año); el **Tamaño de la empresa**, ya sea actual o pasada, de acuerdo a sus ventas anuales y número de trabajadores; la **Descripción general de la(s) actividad(es) productiva(s) que se han desarrollado en el SPPC**, identificando las etapas principales del(los) proceso(s); la **Identificación de instalaciones existentes**, destacando aquellas de especial importancia. Estas son aquellas afectadas por accidentes, instalaciones de tratamiento de residuos y/o almacenamiento temporal, sectores afectados por derrames, fuentes de contaminación, entre otras. Debe consignarse también, la **Existencia de denuncias, inspecciones, accidentes y/o derrames y su descripción**. Estos últimos antecedentes deben ser investigados y solicitados en la Municipalidad correspondiente, en las Secretarías Regionales del Ministerio de Salud y del Ministerio del Medio Ambiente, así como en otras instituciones públicas o privadas que puedan contar con esta información, también puede ser consultada al entrevistado, en caso de que se cuente con uno. El objetivo es recabar antecedentes sobre eventos que hayan marcado algún tipo de irregularidad durante el proceso productivo de la empresa y conocer si estos eventos pueden haber provocado un impacto negativo en el entorno.



III. Información de la Actividad Industrial

Este ítem permite identificar y describir las actividades industriales que se han desarrollado en el SPPC y sus respectivos procesos potencialmente contaminante(s).

A. Proceso Productivo Potencialmente Contaminante: se debe incorporar información relativa al **Tipo de actividad(es) que se ha(n) desarrollado en el SPPC**, esto en términos generales (por ejemplo, actividad minera asociada a la extracción de minerales o la fundición de los mismos, disposición de residuos no autorizada (basural), entre otras actividades). Posteriormente se procede a la **Identificación del(los) proceso(s) industrial(es) potencialmente contaminante(s)**, para lo cual la Ficha, a modo de orientación, incorpora un listado de procesos, aun cuando se permite también incorporar alguno que no esté contenido en el listado. Finalmente se deben **Identificar y describir el o los procesos productivos que poseen una mayor probabilidad de ser considerados una Fuente Sospechosa Contaminación**, de acuerdo a los antecedentes antes levantados y a lo observado en la inspección.



IV. Información Específica de la(s) Potencial(es) Fuente(s) de Contaminación

En este ítem se describe a un nivel más específico la(s) potencial(es) fuente(s) de contaminación, sus procesos relacionados y sus derivados. Es posible que en un SPPC de gran extensión exista más de una potencial fuente de contaminación, aun cuando se prevé que en los SPPC abandonados sea poco común.

Es importante tener presente que una potencial fuente de contaminación puede ser un proceso productivo específico que tiene el potencial de afectar un componente ambiental (fuente primaria) o también puede ser un componente ambiental ya afectado por la presencia de contaminantes que tiene el potencial de afectar a otros componentes ambientales y/o directamente a un receptor (fuente secundaria).

A. Respecto a la(s) Potencial(es) Fuente(s) de Contaminación: se debe incorporar el Nombre de la(s) potencial(es) fuente(s) de contaminación, así como sus Coordenadas Este y Norte, las que corresponden a las coordenadas del punto central de cada potencial fuente de contaminación y/o lugar del evento o accidente.

B. Respecto de los Materiales Utilizados o Generados en la(s) Fuente(s) de Contaminación: En esta sección se debe señalar toda aquella información que tenga relación con los materiales utilizados o generados en la(s) fuente(s) de contaminación identificada(s). Se deben indicar claramente cuáles son las **Materias primas e Insumos** (recursos y materiales a partir de los cuales se han obtenido el(los) producto(s), **los productos/subproductos** (bienes producidos o elaborados) y **los residuos** (todo material de desecho) derivados del (los) proceso(s). Se debe establecer si alguna de las sustancias identificadas se considera un **Residuo Peligroso**, una **Sustancia peligrosa o un Plaguicida de uso agrícola** (de acuerdo a las normativas D.S. 148⁵, NCh 382⁶ y D.L. 20.275⁷, respectivamente). Además, para el caso de los SPPC activos se debe averiguar y verificar si se **cumple con las normativas** atinentes (D.S. 148 y D.S. 78)⁸. Lo anterior da cuenta de si el manejo de las sustancias es el adecuado, lo que en caso contrario podría dar indicios acerca de la existencia de un eventual foco de contaminación.

En el caso del D.S. 78, éste aún no entra en vigencia, por lo que sólo habría que verificar si en el SPPC activo está en proceso de implementación dicha normativa. En el caso del D.S. 148 se debe averiguar el número de registro de resolución sanitaria y su vigencia, la empresa que realiza el transporte y disposición de residuos si corresponde, así como el destino final de los mismos, en caso de que la empresa no cuente con esta información es posible que se estén disponiendo residuos peligrosos en el mismo SPPC, lo que podría constituir una fuente de contaminación. Adicionalmente, en esta sección se deben incorporar antecedentes respecto del **Cumplimiento de instrumentos de gestión y normativos**, por ejemplo, señalar la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) correspondiente, en caso que la empresa haya presentado un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) o Declaración de Impacto Ambiental (DIA), o verificar si se cumple con algún permiso sectorial relevante relativo a la actividad productiva específica.

5 D.S 148: Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos: Este Reglamento establece las condiciones sanitarias y de seguridad mínimas a que deberá someterse la generación, tenencia, almacenamiento, transporte, tratamiento, reúso, reciclaje, disposición final y otras formas de eliminación de los residuos peligrosos.

6 NCh 382: Esta norma establece una terminología y una clasificación general de las sustancias peligrosas; incluye, además, un listado general de las sustancias que se consideran peligrosas, con información respecto al riesgo que presentan, según su Clase.

7 D.L Nº 20.275: Modifica el decreto ley Nº 3557, de 1981, que establece disposiciones para la protección agrícola, con el objeto de corregir la falsedad en la información declarada.

8 D.S 78: Reglamento de Almacenamiento de Sustancias Peligrosas: Este Reglamento se aplica al almacenamiento de sustancias peligrosas. Se entiende por sustancias peligrosas las señaladas por la NCh 382 Of. 2004.



C. Sospecha de Fuente(s) Contaminante(s): Sobre la base de la información recopilada en terreno, se debe establecer si existe **Sospecha de Fuente(s) Contaminante(s)** que podrían generar un Suelo con Potencial Presencia de Contaminantes y justificar este hecho en cada caso. Además se deben señalar, en caso de sospecha, los **Grupos de contaminantes que podrían estar presentes en el SPPC** (metales y metaloides, sales inorgánicas, agroquímicos no COP's, contaminantes orgánicos persistentes (COP's), hidrocarburos (HC) y aceites minerales).

Se recomienda completar este campo luego de la inspección del sector y levantamiento de toda la información que se solicita en Ficha de Inspección de SPPC.

En esta sección se genera el primer puntaje de esta Ficha. El puntaje máximo de esta sección es 1 punto:

- a) Si no existe sospecha, se asigna un valor de **0**.
- b) Si existe sospecha de fuente(s) contaminante (s), se asigna un valor de **0,5**.
- c) Cada grupo de contaminantes señalados en la Ficha tienen asociado un valor estándar de **0,1**, los cuales deben ser adicionados en forma consecutiva de acuerdo al(los) grupo(s) de contaminantes que se encuentre(n) en el SPPC.

A modo de ejemplo, si en un SPPC existe la sospecha de una Fuente Contaminante (valor de 0,5), debido a que podría estar liberando tres grupos de contaminantes: metales y metaloides (valor 0,1), agroquímicos no COP's (valor 0,1) e hidrocarburos (0,1), en este caso este ítem tendría asociado un puntaje de 0,8.

Este puntaje indica la necesidad de continuar con el proceso investigativo y por ende con la aplicación de la Ficha de Inspección de SPPC, y además servirá para el cálculo del puntaje final, que se encuentra en el último ítem de la Ficha de Inspección. En caso de que el puntaje parcial de este ítem sea cero, entonces se descarta al sitio como un SPPC y no es necesario continuar con la investigación.

V. Información Específica de la(s) Ruta(s) de Exposición

Este ítem incorpora un levantamiento de antecedentes referidos a los componentes ambientales que pudiesen estar siendo afectados por la potencial fuente de contaminación y que por tanto podrían constituir vías de transporte de los contaminantes hacia los receptores. Incorpora las rutas de exposición: Suelo, Agua Subterránea, Agua Superficial, Aire y Otras rutas de exposición.

En este ítem se genera el segundo puntaje parcial de la Ficha de Inspección, debido a que se otorga un valor a cada una de las rutas de exposición identificadas.

A. Ruta de Exposición Suelo: Esta sección incorpora información relativa al (los) **Uso(s) anterior(es) del terreno**, así se cuenta con evidencia sobre la existencia de **Suelo potencialmente impactado** y su área, a la presencia de **Suelo con recubrimiento impermeable** (losa, pavimento, estabilizante u otro recubrimiento que permita proteger el suelo) y su porcentaje respecto del total del área evaluada, y a la presencia de **Suelo erosionado** y su porcentaje respecto del total del área evaluada.

B. Ruta de Exposición Agua Subterránea: esta sección reúne información relativa a la **presencia de agua subterránea en el SPPC**, su **profundidad y a cómo fue establecida** (a través de la medición de un pozo cercano, mapas o consulta local). Además se debe verificar la existencia de **pozos de extracción de agua subterránea**, su **distancia** al sitio en estudio y el **uso que se le da al agua** (si es agua potable, para riego, uso recreacional, industrial, no aplica u otro).

C. Ruta de Exposición Agua Superficial: En relación al agua superficial, se debe consignar si existe agua superficial, cuál es la **distancia al curso de agua superficial más cercano** (en metros); especificar **Tipo de cuerpo de agua** (si es un río, lago, laguna, embalse, canal u otro); e identificar el **Uso del agua** superficial (agua potable, riego, recreacional, industrial, no aplica, otro).

D. Ruta de Exposición Aire: En relación a la contaminación del aire se debe señalar si existen **Sospechas de emisiones al aire provenientes de la(s) fuente(s) contaminante(s) y si estas corresponden a Material Particulado (MP) y/o Gases**. Además, si es posible, se debe detallar el tipo de MP (MPS, MP 10, MP 2,5 u otros) y de gases (COV's, SO_x, NO_x, entre otros).

E. Otras Potenciales Rutas de Exposición: Esta sección de la Ficha permite identificar e incluir otras actividades que se desarrollen en un radio de 3 kilómetros del terreno investigado y que puedan ser un medio de exposición de la contaminación hacia algún receptor. Se deberá verificar si existen **Actividades Agrícolas, Pesqueras, Pecuarias u Otras**.

F. Resumen de las Rutas de Exposición Identificadas: En esta sección Resumen se debe indicar cada uno de los medios potencialmente impactados, a partir de los cuales se calcula el segundo puntaje de la Ficha.

El puntaje máximo de esta sección es **1 punto** y está distribuido según el nivel de exposición preliminar que se estima a partir de cada uno de los medios potencialmente impactados:

- a) Agua de Consumo Humano (superficial y/o subterránea) con un valor de **0.2**;
- b) Aire con un valor de **0.2**;
- c) Suelo con un valor de **0.15**;
- d) Agua otros usos (recreacional, riego, industrial) con un valor de **0.15**;
- e) Frutas y Hortalizas con un valor de **0.1**;
- f) Peces con un valor de **0.1**;
- g) Lácteos y Carnes con un valor de **0.05**;
- h) Sedimentos con un valor de **0.05**;

Estos valores dan cuenta del nivel de exposición preliminar. Para su asignación se ha considerado que los medios ambientales que tienen asociado una exposición directa (agua de consumo, aire, suelo, agua superficial), poseen valores mayores. Para el caso de los componentes ambientales que deben incorporar a los contaminantes presentes (en forma biodisponible) a través de procesos de asimilación secundarios (frutas y hortalizas, peces, lácteos y carnes), tienen asociado un valor menor. Para el caso de sedimentos se ha considerado un valor bajo, aun cuando es un componente ambiental de exposición directa, debido a que el nivel de contacto o exposición con este medio es en general bajo.

Luego de ello, para determinar el puntaje del ítem de Rutas de Exposición se debe hacer la sumatoria de los puntajes de los medios valorados, el que servirá para el cálculo del puntaje final, que se encuentra en el último ítem de esta Ficha de Inspección.

VI. Información Específica de los Potenciales Receptores Expuestos

La información específica de los receptores tiene relación con las personas que residen o desarrollan una actividad en las cercanías de la(s) fuente(s) potencialmente contaminante(s) y con el levantamiento de información general relativa a los receptores ecológicos.

Esta etapa otorga el tercer puntaje de la Ficha de Inspección, se asigna un valor a los receptores (población humana) que pudiesen verse afectados por la potencial contaminación ya sea porque residen o trabajan en el SPPC o en sus cercanías. Esto se calcula en base a la distancia y a la cantidad de población de la que se trate.

A. Receptores: Actividades Desarrolladas en las Cercanías:

Se debe indicar la **Accesibilidad** de personas al suelo en estudio y la presencia de **Población humana potencialmente expuesta**. En el caso de que existan residentes, se debe indicar el **Nombre del poblado**, la **Distancia a la fuente potencial de contaminación** y el **Número aproximado de habitantes**. En el caso de que existan trabajadores, se debe indicar la **Actividad que desarrollan**, la **Distancia al sitio**, el **Número aproximado de trabajadores**, su **Jornada laboral** y el **Equipo de protección personal que emplean**.

Adicionalmente se debe efectuar una **Descripción de información sobre sintomatologías (si existiese) o enfermedades laborales asociadas a la potencial fuente de contaminación**. Finalmente se debe indicar información relativa a la **Presencia de al menos una especie vegetal o animal en alguna categoría de conservación, de áreas protegidas por parte del Estado y/o de ecosistemas de alta relevancia por la función ambiental o servicio ecosistémico que prestan**.

B. Resumen de las Rutas de Exposición Identificadas: En esta sección resumen se debe indicar si existen receptores potencialmente impactados, a partir de lo cual se calcula el tercer puntaje de la Ficha. Este último solo se relaciona con los receptores humanos, los receptores ecológicos por el momento no tienen asignado un puntaje.

El puntaje máximo de esta sección es 1 punto y está dado por la distancia de los receptores humanos más cercanos y la cantidad total de población humana potencialmente afectada, de acuerdo a lo siguiente:

Distancia Personas Expuestas	Puntaje
0 - 2 km	0,6
2 - 3 km	0,4

Cantidad de Personas Expuestas	Puntaje
> 100.000	0,4
100.000 - 10.000	0,3
10.000 - 1.000	0,2
< 1.000	0,1

Luego de ello se debe efectuar la sumatoria de las magnitudes asignadas a la distancia y a la cantidad de población expuesta en el SPPC, puntaje que es utilizado en la sección 8 y final de la Ficha.

VII. Esquemas

En este ítem se debe incluir un croquis y completar información relativa a fuentes, rutas y receptores identificados en el SPPC y una tabla resumen para orientar la elaboración del modelo conceptual preliminar.

A. Croquis Esquemático: Se debe efectuar un bosquejo en el que se indique la fuente de contaminación, las vías de exposición y los receptores o bienes a proteger.

B. Modelo Conceptual Preliminar: En la tabla se deben señalar la(s) fuente(s) de contaminación, el(los) medio(s) ambiental(es) potencialmente contaminado(s), la(s) vías de exposición (formas de contacto con el receptor según el medio donde esté el contaminante) y los receptores.

VIII. Fuentes de Información

En este ítem se deben incluir las fuentes de información utilizadas en el levantamiento de información del SPPC de interés.

IX. Puntaje

Este último ítem corresponde a un resumen de la información recopilada en las secciones de la Ficha de Inspección que llevan asociada una valoración cuantitativa. El cálculo se efectúa de acuerdo a lo siguiente:

CÁLCULO DEL PUNTAJE				
Fuente(F) $0 \text{ o } 0,5 + \sum F_i$	Ruta(Ru) $\sum Ru_i$	Receptor (Re) (Dis. + Hab.)	Cálculo Puntaje $(F + Ru + Re) * 100/3$	Puntaje Total(%)
			$(\text{-----} + \text{-----} + \text{-----}) * 100/3$	

TABLA 4 Cálculo Puntaje Priorización
Fuente: ELaboración Propia

Para el cálculo final del puntaje debe efectuarse la suma de los valores asociados a la Fuente (F), Ruta de Exposición (Ru) y Receptor (Re). Luego, dicho valor debe multiplicarse por 100 y dividirse por 3 (puntaje máximo). El valor final del cálculo permite asignar una magnitud al SPPC priorizado en forma de porcentaje, que se relaciona con el riesgo preliminar a la salud humana.

Para interpretar el puntaje obtenido se considera lo siguiente:

- El puntaje de la Ficha va de 0% a 100%. Este último se alcanza cuando se obtiene el máximo de 3 puntos.
- Todos aquellos SPPC que arrojen un puntaje distinto de 0% se recomienda que sean investigados con mayor detalle.
- Los puntajes obtenidos tienen asociado un nivel de importancia o urgencia respecto de la necesidad de efectuar investigaciones posteriores más detalladas en el SPPC. Para esto se considerará el siguiente criterio general:

Puntaje	Descripción
0-30%	Baja jerarquía
30-60%	Mediana jerarquía
60-100%	Alta jerarquía

De esta forma, los esfuerzos de investigación debieran focalizarse en aquellos SPPC categorizados como de "alta jerarquía" para luego continuar con los SPPC que presenten jerarquías menores.

Cabe mencionar que aun cuando solo los campos que inciden en el puntaje se consideran obligatorios de llenar, el resto de los campos es recomendable que sean completados, debido a que permiten el levantamiento de información adicional, relevante de considerar y analizar. En caso de que se constate una falta importante de información, se recomienda ir nuevamente a la etapa de recopilación de información.

4.3 Requerimientos Profesionales y Técnicos Estimados, Fase I

Para la óptima aplicación de la primera Fase de esta Guía es necesario contemplar un equipo de trabajo técnicamente idóneo, así como también disponer de las herramientas necesarias para el manejo de la información a nivel territorial.

Como una forma de orientar a las Secretarías Regionales del Ministerio de Medio Ambiente que aplicarán este proceso a nivel regional se presentan, en el ANEXO 4, antecedentes generales relativos al perfil profesional, plazos estimados y recursos técnicos que se requieren para aplicar esta primera Fase a nivel regional.

5.FASE II

Evaluación Preliminar Sitio-Específica del
Riesgo de Suelos con Potencial
Presencia de Contaminantes



5. Fase II: Evaluación Preliminar Sitio-Específica del Riesgo de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes

5.1 Esquema de Trabajo o Procedimiento de la Fase II

Las actividades a desarrollar en cada una de las etapas se detallan en el siguiente diagrama de flujo, donde además se describen los pasos a seguir en base a los resultados que se obtienen en cada caso.

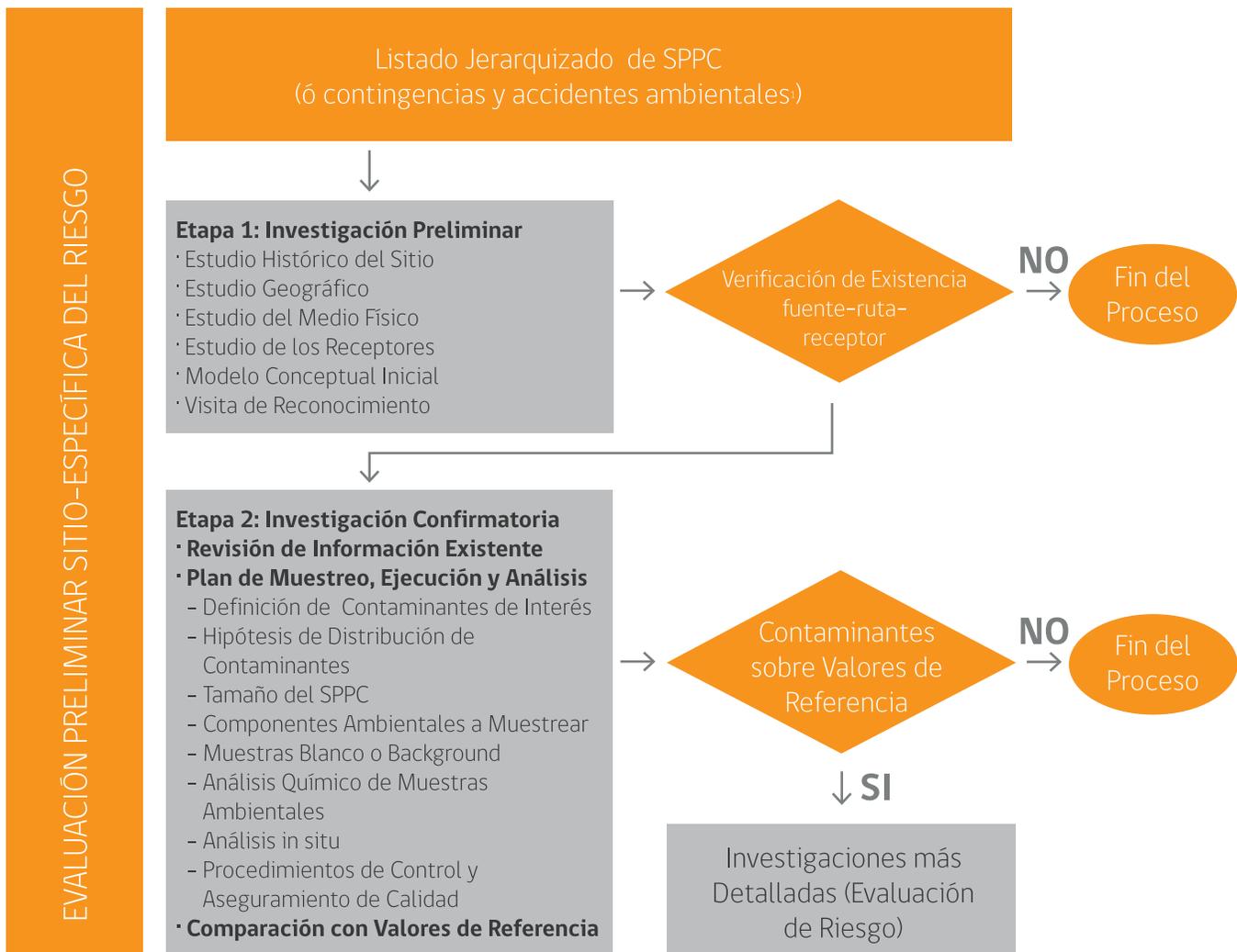


FIGURA 5 Diagrama de Procedimiento para la Evaluación Preliminar Sitio-específica del Riesgo de SPPC

1 Eventos inesperados requieren de una gestión inesperada, debido a que afectan, directa o indirectamente, la seguridad y la salud de la comunidad involucrada, causando además impacto en el ambiente.

5.2 Metodología de Trabajo Fase II

En la Figura 6 se presentan las actividades necesarias de efectuar en la Evaluación Preliminar Sitio específica del Riesgo de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes. Consta de dos etapas, orientadas a la investigación de un SPPC en distinto grado de profundidad, con miras a comprobar la presencia de contaminación.

El proceso de evaluación es consecutivo, se inicia con el levantamiento y análisis de información cualitativa y culmina con la obtención de datos cuantitativos que acreditan la presencia de contaminantes y eventualmente la existencia de un riesgo preliminar.

NIVEL	ACTIVIDADES	PRINCIPALES RESULTADOS
SITIO ESPECÍFICO: Evaluación Preliminar del Riesgo	Investigación Preliminar	Modelo Conceptual de la Situación de Contaminación
	Investigación Confirmatoria	Determinación Cuantitativa de la Presencia de Contaminantes

FIGURA 6 Actividades para la Evaluación Preliminar Sitio-Específica del Riesgo SPPC

5.2.1 Investigación Preliminar

En el marco de este proceso, los suelos en los que amerita hacer una Investigación Preliminar son aquellos pertenecientes al Listado Jerarquizado de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes, así como en aquellos en los que se requiere una gestión inmediata, producto de una contingencia o accidente ambiental.

La Investigación Preliminar se inicia con la recopilación de los antecedentes existentes y el levantamiento de información adicional sobre el Suelo con Potencial Presencia de Contaminantes, con la finalidad de minimizar los esfuerzos de terreno

venideros y orientar mejor el proceso de evaluación sitio-específica, empleando a la vez el mínimo de recursos.

A continuación, se presentan las diferentes actividades que deben ejecutarse para dar cumplimiento a esta etapa.

5.2.1.1 Estudio Histórico

Consiste en la recopilación de la información relativa a la actividad actual o histórica desarrollada en la zona, considerando: la localización del SPPC en su contexto regional y local; el estudio de la evolución de los usos del suelo, del área y entorno; y la descripción de las condiciones actuales. En términos generales un estudio histórico, 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.

Los principales aspectos a considerar para la recopilación de antecedentes históricos son:

A. Usos del Suelo: 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 acuerdo a instrumentos de planificación territorial; propietarios anteriores y actuales; características y uso del suelo aledaño; entre otros.

B. Plano del Suelo con Potencial Presencia de Contaminantes: Localización de edificios e instalaciones actuales y pasadas a nivel superficial y subterráneo; localización de redes de abastecimiento; superficie de la zona ocupada; material y estructura de construcción de edificios e instalaciones, entre otras.

C. Historial Cronológico del Terreno: Períodos en los que se desarrollaron las actividades productivas y el respectivo uso/vertido/disposición de materias primas y residuos.

D. Descripción de los Procesos Productivos más Relevantes: Diagramas de flujo, productos y residuos.

E. Materias Primas y Residuos: Tipos, estado físico, composición química, toxicidad, cantidades, procedencia, forma de almacenamiento o disposición, entre otras. Localización en el plano, a nivel superficial y subterráneo, e indicación de las medidas de protección ambiental aplicadas.

F. Sistemas de Protección: Zonas pavimentadas, drenajes, zanjas, entre otras.

G. Puntos de vertido: Al alcantarillado, a cauce superficial o infiltración a napa subterránea.

H. Antecedentes de incidentes ambientales: Derrames, vertidos, accidentes, denuncias, inspecciones anteriores, entre otros.

Para recopilar los antecedentes anteriores 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. Adicionalmente, se recomienda realizar inspecciones de terreno, y efectuar entrevistas con el propietario del sitio y trabajadores más antiguos. Respecto de los accidentes o denuncias, se pueden consultar los archivos municipales, antecedentes de las Secretarías Regionales del Ministerio de Salud y del Ministerio del Medio Ambiente, entre otras.



FIGURA 7 Fotointerpretación de un SPPC

5.2.1.2 Estudio Geográfico

Considera la información relativa a la localización del Suelo con Potencial Presencia de Contaminantes en estudio, por medio de mapas a una escala adecuada, indicándose la localización exacta de la instalación o de la zona de estudio y todos aquellos aspectos que puedan ser relevantes.

El uso de fotografías aéreas e imágenes satelitales es una herramienta que ayuda a visualizar el entorno y los límites del suelo en estudio.

Además de la consulta a fuentes cartográficas existentes, es deseable la creación de mapas propios que faciliten la localización del emplazamiento y su ubicación en el contexto geográfico regional y local.

Adicionalmente, se pueden consultar algunas de las fuentes de información geográfica que actualmente se encuentran disponibles para todo el territorio nacional, entre las cuales destacan:

- Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA)
<http://www.sinia.cl>
- Conaf-Conama: Catastro Bosque Nativo. Cobertura a nivel Nacional, escala 1: 50 000
- Cartas I.G.M. Todo el País. Escala 1: 50 000.
- Fotografías aéreas: Ortofoto Ciren-Corfo o vuelos Conaf-Conama escala 1: 20 000, 1: 50.000, respectivamente.
- Mapas Hidrogeológicos de Chile, escala 1: 1.000 000. Sernageomin.
- Mapas Geológicos de Chile. Sernageomin.
- DGA: Información estratigráfica de pozos.



5.2.1.3 Estudio del Medio Físico

Considera la definición de las características del medio físico más relevantes, entre las que destacan:

- a) Identificación de la topografía y accesos
- b) Climatología local: Régimen de lluvias, pluviometría, dirección predominante del viento, evapotranspiración potencial, entre otras
- c) Contexto geológico regional a partir de fuentes bibliográficas: Estratigrafía, litología esperada
- d) Existencia y calidad de agua subterránea e identificación de cursos de agua superficial.
- e) Caracterización hidrogeológica básica a partir de fuentes bibliográficas: Profundidad del agua subterránea, tipo de acuífero, parámetros hidrogeológicos básicos (permeabilidad, gradiente hidráulico, dirección de flujo, transmisividad, entre otros).
- f) Relaciones entre las aguas subterráneas y aguas superficiales.
- g) Identificación de tomas de agua: Pozos, piezómetros o sondeos en el emplazamiento y/o alrededores, usos, otros puntos de agua de interés.

5.2.1.4 Estudio de los Receptores

Corresponde a la caracterización de los receptores potencialmente expuestos dentro del límite del Suelo con Potencial Presencia de Contaminantes y de aquellos ubicados en las cercanías que pudieran verse afectados. Las características principales que pueden influir en la exposición y sus consecuencias son:

A. Localización: posición relativa de la población con respecto a la fuente de contaminación y a la dirección de los desplazamientos más probables de los contaminantes.

B. Presencia de sub-poblaciones sensibles: Grupos poblacionales más susceptibles de sufrir un daño al quedar expuestas 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.

C. 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.

5.2.1.5 Análisis de Información y Desarrollo del Modelo Conceptual

Con toda la información obtenida, se elaborará una primera hipótesis de trabajo que intente explicar el estado del sistema ambiental afectado. Para ello se elaborará un modelo conceptual del Suelo con Potencial Presencia de Contaminantes.

El modelo conceptual permite visualizar de forma general y resumida las condiciones del emplazamiento, ilustrando la distribución de las potenciales fuentes contaminantes, mecanismos de vertido, vías de exposición y mecanismos de migración, así como los receptores potenciales existentes. Se apoya en mapas, esquemas, cortes litológicos, hidrogeológicos, distribución de puntos con potencial contaminación, que ilustran tanto las posibles fuentes de contaminación como las vías de movilización y receptores potencialmente existentes.

Corresponde a un esquema descriptivo que permite identificar las rutas de exposición, desde la emisión de los contami-

nantes hasta el lugar en que se contactan con los receptores. En la elaboración del referido modelo se deberán considerar los desplazamientos de contaminantes que pueden dar lugar a exposiciones efectivas.

Para que una ruta de exposición se considere completa deben existir dos condiciones: (i) un mecanismo de transporte conocido, o probable, a través del cual el contaminante se desplace hasta una ubicación (o medio) donde un receptor pueda estar expuesto y (ii) una vía de exposición mediante la cual el contaminante pueda entrar en contacto con el receptor.

En la Figura 8 se presenta un esquema simplificado de la migración de los contaminantes desde una fuente y los mecanismos de liberación y de transporte que pueden experimentar. A partir de este esquema es posible inferir las posibles rutas y vías de exposición del sitio.

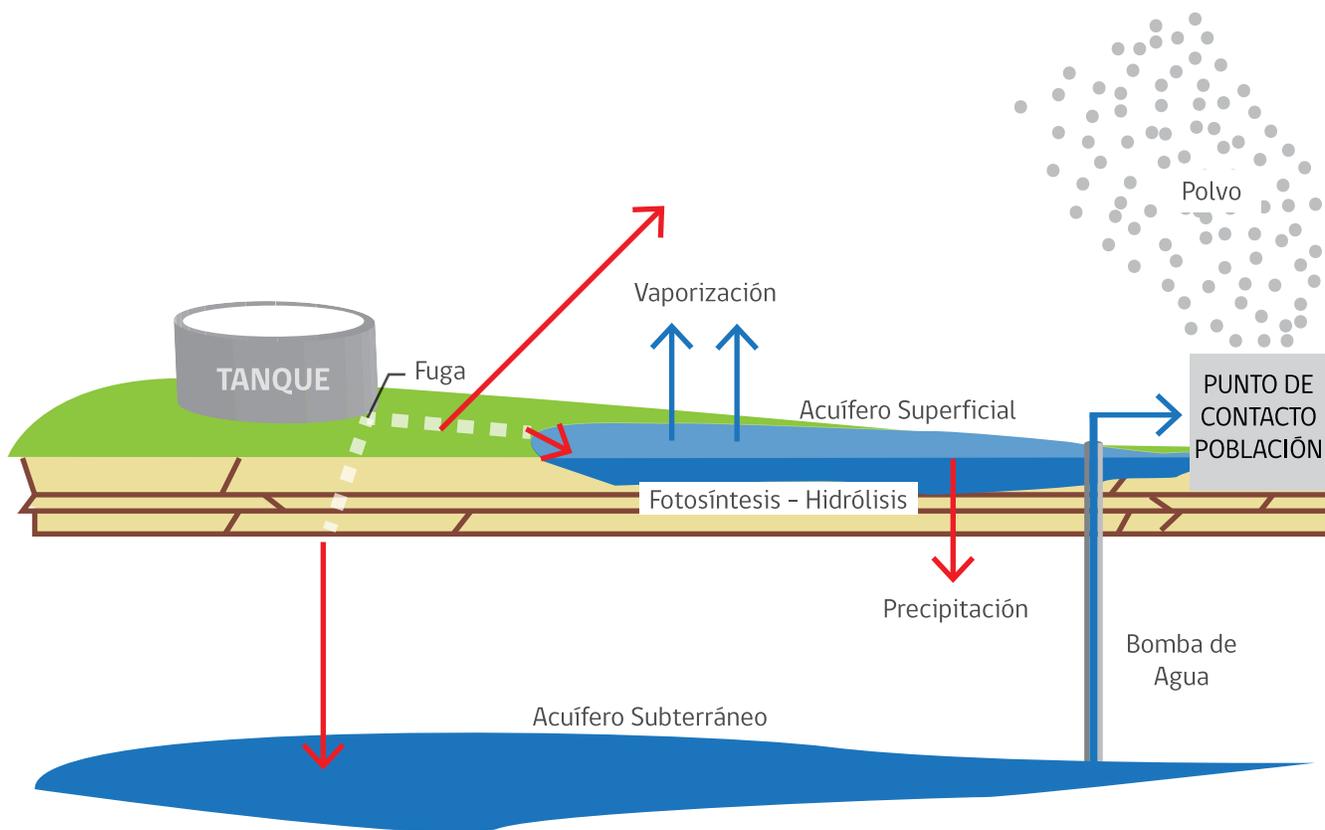


FIGURA 8 Ejemplo de Esquema con Desplazamiento de Contaminantes desde una Fuente de Contaminación. Fuente: Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental. Universidad de Arizona, Grant P42 ESO 4940.

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 los análisis siguientes depende de la representatividad del modelo conceptual.

El Modelo Conceptual puede ser representado mediante un diagrama, como el que se presenta en la Figura 9.

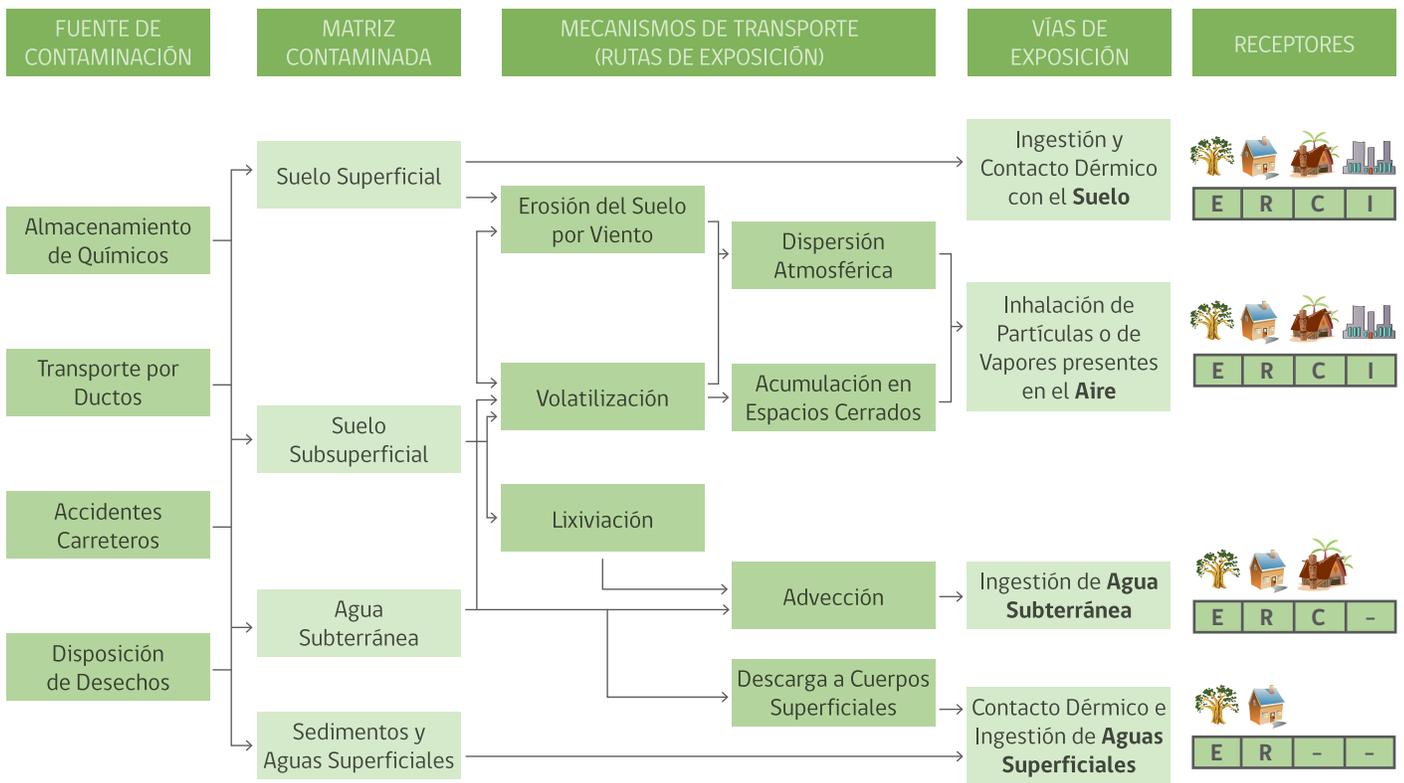


FIGURA 9 Diagrama de Modelo Conceptual Genérico
Fuente: Elaboración propia

Nota: Los receptores de izquierda a derecha corresponden a Ecológico (E), Residencial (R), Comercial (C), Industrial (I)

5.2.1.6 Visita de Reconocimiento

En algunos casos, puede que sea necesaria una inspección adicional a la efectuada durante la etapa de Identificación, Priorización y Jerarquización de los Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes, de manera de revisar con mayor detalle algunas características y condiciones del sitio.

La visita tiene por objetivo 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 o complementar la información existente y se justifica cuando:

- a) No existan antecedentes históricos del SPPC
- b) La Ficha de Inspección de SPPC no haya sido aplicada, o se aplicó hace más de un año.
- c) Existan nuevos antecedentes sobre evidencias de contaminación en el SPPC.

d) Existan denuncias sobre receptores afectados en las inmediaciones del SPPC.

Es aconsejable la realización de al menos una visita de reconocimiento al SPPC en el transcurso de la Investigación Preliminar, pudiendo efectuarse en cualquier momento, de acuerdo a la cantidad y calidad de la información con la que se cuenta para el suelo en estudio.

5.2.1.7 Informe con Conclusiones de la Investigación Preliminar

En base a la Investigación Preliminar 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.

5.2.2 Investigación Confirmatoria

En aquellos casos en los que como conclusión de la Investigación Preliminar se determine la necesidad de continuar con las labores de investigación del sitio, se debe desarrollar una Investigación Confirmatoria, la cual tiene por finalidad determinar si existe una contaminación significativa en el suelo en estudio.

Los objetivos de la Investigación Confirmatoria son:

- a) Determinar la concentración de los contaminantes existentes en el sitio y compararlos con valores de referencia (previamente establecidos) para determinar si existen indicios de contaminación significativa.
- b) Determinar la extensión de la contaminación.
- c) Recopilar datos para mejorar el modelo conceptual del SPPC en estudio.

Para lograr estos objetivos, será necesaria la ejecución de las siguientes actividades:



5.2.2.1 Revisión de la Información Existente

Para planificar el programa de muestreo y los trabajos de campo necesarios para la Investigación Confirmatoria se deben revisar los antecedentes y el modelo conceptual inicial, prestando especial atención a los siguientes aspectos:

A. Identificación y descripción de cada una de las fuentes potenciales de contaminación existentes: dimensiones, localización espacial, descripción del tipo de distribución espacial esperada y alcance de la contaminación, medios afectados, tipo de contaminantes involucrados y concentraciones estimadas.

B. Identificación y descripción del medio físico: características significativas del medio físico que ayuden a planificar las tareas para la obtención de datos. Características litológicas del sitio, accesibilidad, hidrogeología, usos del suelo (incluidas las aguas subterráneas), aspectos geoquímicos, aspectos climáticos de interés (pluviometría, régimen de vientos, otros), topografía, hidrología, otros datos de interés.

C. Identificación de posibles vías de movilización, exposición y receptores potenciales de interés.

D. Evolución espacial y temporal de la contaminación: Distribución potencial de los contaminantes y su alcance, considerando mecanismos de migración y transformación.

E. Identificación de la necesidad de contar con datos adicionales: modelos de comportamiento de la contaminación en el medio y los respectivos datos requeridos y sus fuentes de información.

5.2.2.2 Plan de Muestreo, Ejecución y Análisis

Una vez que se cuenta con la información detallada, se procederá a definir la estrategia de muestreo de tipo exploratorio o screening. En este tipo de muestreo la ubicación y distribución de las muestras estarán dirigidas a ciertas zonas en donde se presume que los contaminantes pueden migrar hacia un receptor.

El objetivo del muestreo exploratorio es identificar en forma costo-eficiente la presencia de contaminantes, en un lugar o terreno delimitado, y confirmar o rechazar la hipótesis sobre la presencia de contaminantes en el Suelo con Potencial Presencia de Contaminantes.

El plan de muestreo deberá considerar los siguientes aspectos:

I. Definición de Contaminantes de Interés

Se debe evaluar basado en todos los antecedentes recopilados en el sitio, el o los contaminantes que poseen una mayor probabilidad de estar presentes en los componentes ambientales potencialmente contaminados, seleccionando para análisis aquellos que revisten mayores riesgos para la salud de la población y/o el ecosistema, dependiendo del objetivo del estudio.

A modo de ejemplo, a continuación se presentan los principales contaminantes asociados a algunas actividades productivas o rubros seleccionados.



RUBRO	CONTAMINANTES ASOCIADOS
Extracción de Minerales Metálicos No Férreos	Ácidos, Álcalis, Floculantes (Ej. Sulfato, Cianuros), Metales (Ej. Cobre, Mercurio, Cadmio), Hidrocarburos Aromáticos Monocíclicos (Ej. Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno), Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (derivados del benceno y de la naftalina), Hidrocarburos Totales, PCB's (transformadores).
Extracciones de Petróleo y Gas Natural	Hidrocarburos Totales, Hidrocarburos Aromáticos Monocíclicos (Ej. Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno) antraceno, fenol, fenantreno, Ácidos (Ej. Sulfúrico), Álcalis, Metales (Ej. Plomo, Zinc, Cobre, Níquel, Cromo, Cadmio, Bario, Arsénico, Mercurio), Cianuros, Compuestos de azufre orgánico.
Industria Textil	Metales (Ej. Cadmio, Cromo, Titanio, Zinc, Aluminio, Estaño), Ácidos (Ej. Sulfúrico), Álcalis (Ej. Sosa Cáustica), Hidrocarburos Clorados (Ej. Percloroetileno), Hidrocarburos Aromáticos Monocíclicos (Ej. Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno), Pesticidas Organoclorados (Ej. Dieldrín, Aldrín), Hipoclorito Sódico, Fenoles, Hidrocarburos no halogenados (Ej. estirenos).
Industria de la Madera	Hidrocarburos aromáticos, Hidrocarburos alifáticos (Ej. metanol), Clorofenoles (Ej. Pentaclorofenol), Fenoles (Ej. o-fenilfenol, Parametacresol, Benzilfenol), PCB's, Plaguicidas (Ej. carbamato, permetrina), Metales (Ej. cromo, cadmio), Ácidos y bases.
Industria del Papel	Hidrocarburos alifáticos (Ej. olefinas), Hidrocarburos aromáticos (Ej. tolueno), Hidrocarburos Policíclicos, Hidrocarburos clorados (Ej. percloroetileno), Metales (Ej. cadmio), Sulfuros, Bases (Ej. sosa cáustica).
Industria Química: Fabricación de productos químicos básicos	Hidrocarburos aromáticos (Ej. tolueno), Hidrocarburos alifáticos (Ej. olefinas), Hidrocarburos no halogenados (Ej. alcoholes), Hidrocarburos Policíclicos, Hidrocarburos halogenados, Metales, Ácidos y Bases, Sales: Fluoruros, Cianuros, Sulfuros y sulfatos, Fósforo.
Industria Química: Fabricación de pinturas, barnices y revestimientos similares; tinta imprenta y masillas	Metales (Ej. arsénico, bario, cadmio, cromo, cobalto, plomo, manganeso, cinc, mercurio, selenio, titanio), Disolventes (Ej. tolueno), Amino aromáticas, Alcoholes (Ej. propanol, etanol), Cresoles, Éter glicólico, Hidrocarburos clorados.
Fabricación de Productos Metálicos	Metales (Ej. bario, cromo, molibdeno, vanadio), Flúor, Sulfatos, Formaldehído, Fenol, Cianuro, Aceites de taladrar y de corte, Sales de nitrito, Hidrocarburos clorados volátiles.
Producción y Distribución de Energía Eléctrica, Gas, Vapor y Agua	Aceites minerales, Bifenilos policlorados (PBC), Hidrocarburos, Clorobenceno, Metales pesados.

TABLA 5 Principales Contaminantes Asociados a Algunas Actividades Productivas.

Fuente: Elaboración propia

Si bien existe información teórica sobre los potenciales contaminantes que se asocian o se espera encontrar en un sitio de acuerdo al rubro o actividad productiva que se ha desarrollado en él, la definición de cuáles contaminantes considerar en el estudio debe basarse en las características propias del SPPC, en las características fisicoquímicas de los contaminantes que se espera encontrar, y de la forma en que se han desarrollaron dichas actividades.

II. Hipótesis sobre la Distribución de los Contaminantes

Para el desarrollo de la hipótesis sobre la distribución de los contaminantes se debe considerar cuál sería la distribución espacial de los contaminantes según las características propias del sitio y del entorno, que afecten su movilidad y transformación. Algunos aspectos claves son: la pendiente, los tipos de contaminantes y sus características físico-químicas, el clima, las características edafológicas del suelo, la presencia de agua subterránea, entre otros aspectos. Se deberá levantar toda la información disponible que sirva como orientación para el desarrollo de la hipótesis.

No existe una única fórmula para el desarrollo de esta actividad, ya que la diversidad de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes determina la necesidad de ajustar a cada caso la hipótesis a considerar. Será el modelo conceptual, la información histórica, las características ambientales del SPPC y las propiedades de los potenciales contaminantes, los que determinarán la posible distribución espacial de los contaminantes en el terreno.

III. Tamaño del Sitio

Este aspecto es de suma importancia cuando se busca una representatividad de las muestras. Puede resultar muy distinto un plan de muestreo en una estación de servicio que en un área minera de gran extensión. Si bien es cierto, la lógica indica que en áreas más extensas el número de muestras debiera ser mayor, el enfoque del Plan de Muestreo exploratorio se basa en obtener muestras representativas de los medios ambientales potencialmente contaminados.

Es fundamental definir los límites del SPPC y buscar acotarlos lo más posible al área de estudio. Dichos límites podrán luego ser ampliados a un área más extensa durante el desarrollo del muestreo detallado.

Tal como se ha mencionado en etapas previas en el caso de SPPC activos o en operación, en general el área en estudio está circunscrita a los límites de la propiedad, que frecuentemente cuentan con un cerco u otra delimitación. En el caso SPPC abandonados, los límites pueden estar dados por la propiedad, o por consideraciones geográficas. Para ello, se pueden tomar

en cuenta las divisorias de agua como posibles límites (microcuencas o quebradas) o bien alguna barrera natural o artificial, tales como cerros, afloramientos rocosos, caminos, vía férrea, entre otros

IV. Componentes Ambientales a Muestrear

Su selección es clave para determinar o no la presencia de los posibles contaminantes de interés. Considerando que el objetivo en esta actividad es identificar la presencia de contaminantes dentro del emplazamiento, puede ser necesario muestrear todos o algunos de los siguientes medios:

- Suelo y otras matrices sólidas
- Sedimentos
- Agua superficial
- Agua subterránea
- Aire intersticial de suelo
- Alimentos
- Otras

Para cada uno de estos medios existen técnicas y procedimientos de muestreo idóneos, los que se detallan a continuación:⁹

A. Muestreo de Suelo y otras Matrices Sólidas

a) Estrategia de Muestreo para Suelo y Otras Matrices Sólidas

El diseño muestral a nivel exploratorio del suelo se apoya fundamentalmente en la información previa existente, que permite establecer una hipótesis sobre la distribución horizontal y vertical de la contaminación en el SPPC.

El primer aspecto a considerar tiene que ver con la homogeneidad de la distribución de la contaminación. En caso que se asuma una distribución homogénea, se debe aplicar un muestreo de tipo simple (homogéneo en toda la extensión), en caso contrario, se aplica un muestreo de tipo estratificado (división del terreno en sub-áreas).

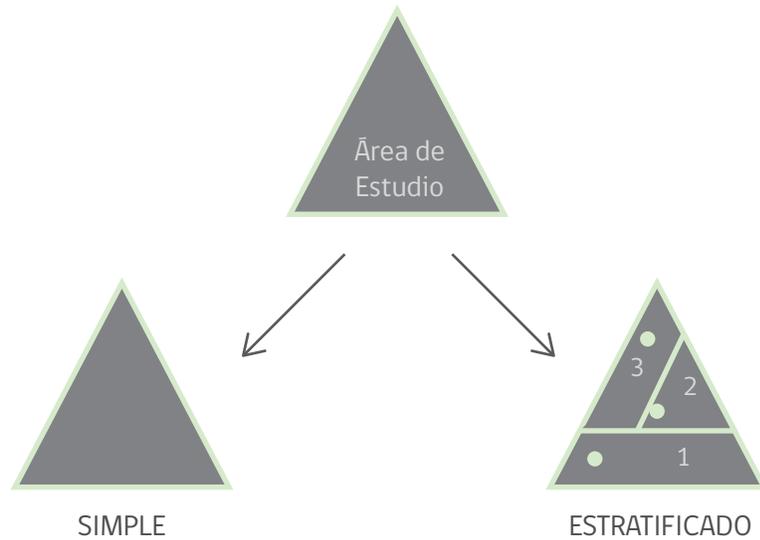
Una vez determinado si la distribución de la contaminación es considerada homogénea o no, se debe determinar la ubicación de las muestras, los modelos de distribución de los puntos de muestreo dentro del área de estudio más frecuentes son:

⁹ En esta guía no se detallan aspectos relacionados con el muestreo de alimentos, dado que en general esta es una materia abordada por las agencias de salud.

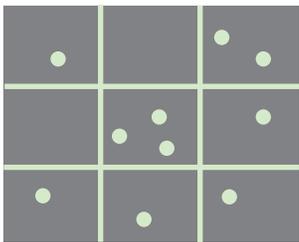
- Sistemático al azar (división en sub-áreas similares, con localización aleatoria)
- Sistemático regular (con una malla de división regular)
- Sistemático en gradiente (distribución heterogénea en dirección del gradiente)

- Distribución al azar (en forma aleatoria)

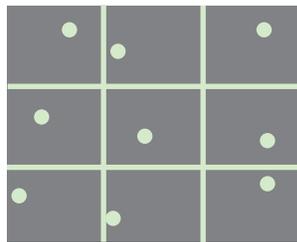
Respecto a la ubicación de las muestras, existen tres tipos principales de muestreo para el caso de muestras sólidas. En la Figura 10 se presenta una ilustración del tipo de muestreo y modelo de localización de los puntos de muestreo.



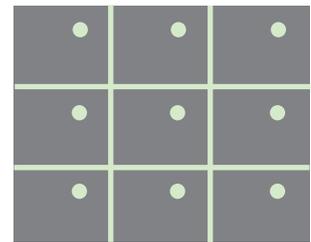
DISTRIBUCIÓN DENTRO DE LAS DIFERENTES ÁREAS O SUBÁREAS



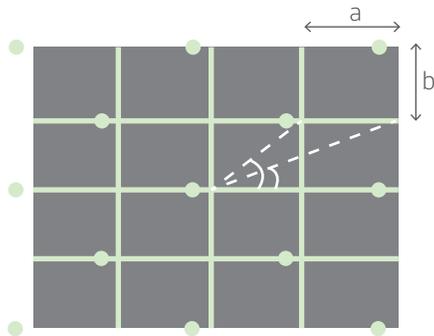
A. AL AZAR



B. SISTEMÁTICO AL AZAR



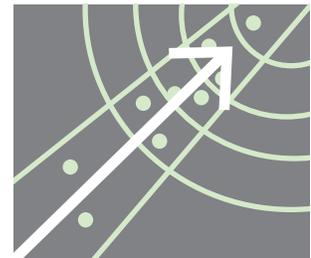
C. REGULAR O SISTEMÁTICO



D. SISTEMÁTICO AL TRESBOLILLO O ALTERNADO

La red se modifica según a:b y α
Por ejemplo:

a:b	α	Tipo de Red
a=b	45°	cuadrada
a=b	30°	hexagonal
a=b	45°	rectangular



E. SISTEMÁTICO EN GRADIENTE

Fuente: Investigación de la Contaminación de Suelos – Estudio Histórico y Diseño de Muestreo; Guía Metodológica, IHOBE, 1998

Finalmente se debe determinar el número de puntos de muestreo, es decir, la densidad de muestreo y el número de sub-muestras por punto de muestreo.

En el caso de muestras superficiales de suelos, el criterio de EPA (1996) para estimar las concentraciones medias de semivolátiles, inorgánicos y plaguicidas considera seis muestras compuestas para cada área de 2.025 m² (0,5 acre) y a partir de cuatro muestras individuales que son recolectadas en forma aleatoria. Cabe señalar que EPA sugiere este criterio para evaluaciones de uso residencial del sitio y tamaños de los predios similares al tamaño de área anteriormente indicado. Con este número de muestras se trata de lograr errores negativos del 5% y un máximo de 20% de errores positivos, asumiendo una

probabilidad de error de decisión entre 0,5 y 2 SSL para un coeficiente de variabilidad de 2,5.¹⁰

De manera similar, el Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio del País Vasco, mediante Decreto 199 del 10 de octubre de 2006, estableció que para una investigación exploratoria (equivalente a una Investigación Confirmatoria), el número mínimo de puntos de muestreo en suelos se determinará, para cada una de las áreas cuya diferenciación ha sido posible, de acuerdo al esquema de la Figura 11, o de conformidad con una metodología alternativa comúnmente aceptada por organismos internacionales u organismos de expertos en suelos contaminados. Un esquema similar ya se había presentado por IHOBE en 1998¹¹.

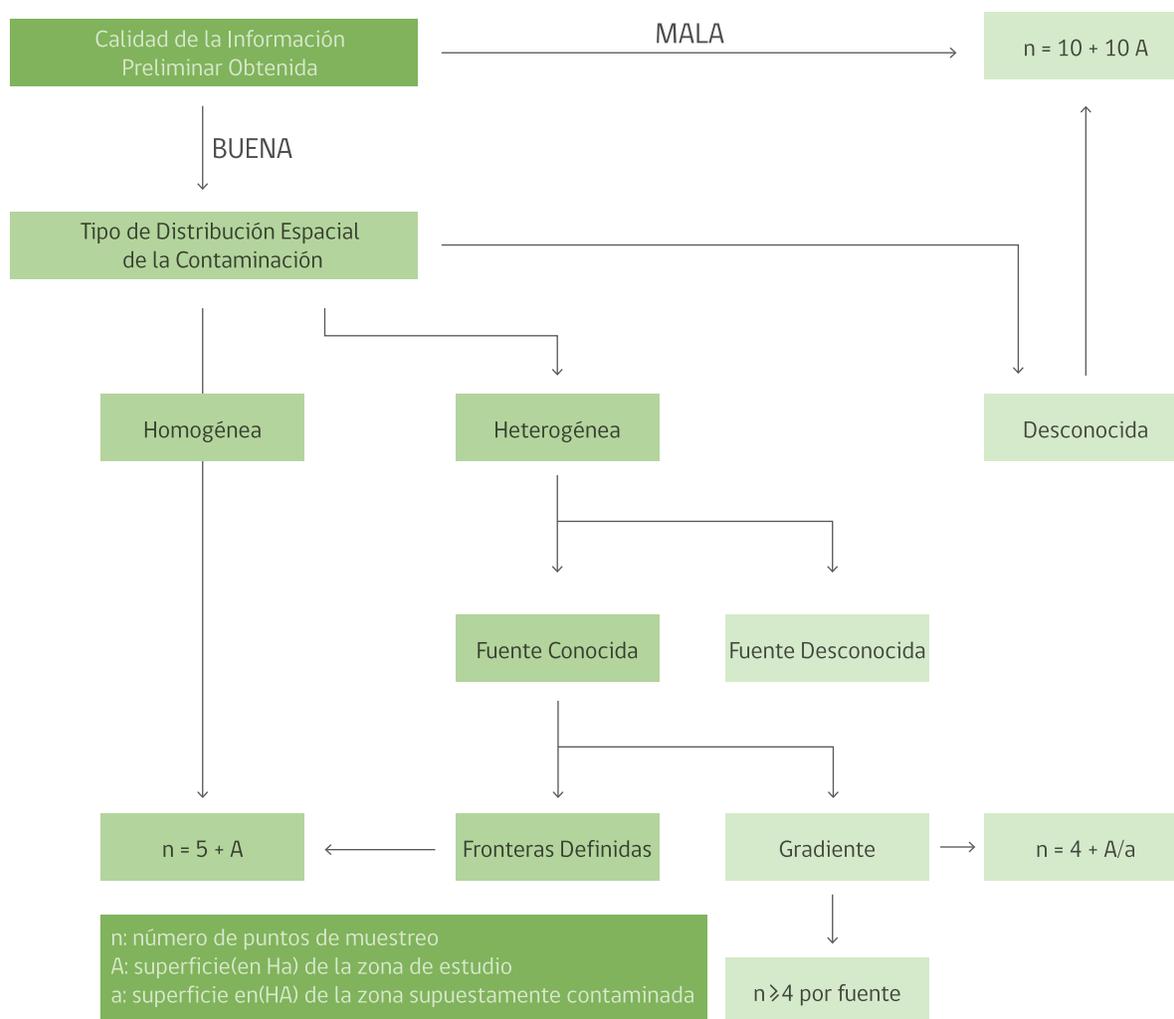


FIGURA 11 Procedimiento para la Determinación del Número de Muestras a Nivel Exploratorio
 Fuente: Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de País Vasco, 2006.

10-11 Ministerio de Medio Ambiente, Ingeniería Alemana S.A. (2010). Catastro de Sitios con Presencia de Dioxinas y Furanos Asociados al Uso de Pentaclorofenol en Aserraderos Fase II. Metodología de Investigación Confirmatoria y Estimación Preliminar de Riesgos Ambientales. pp. 81

Respecto a la profundidad, el muestreo de superficie se puede escoger para derrames o contaminaciones recientes y para tasas reducidas de migración de contaminantes. Si los contaminantes han estado en contacto con el suelo por un período prolongado, puede ser necesario el muestreo a mayores profundidades.

b) Herramientas Para la Toma de Muestras de Suelo y Otros Tipos de Matrices Sólidas

Los dispositivos de muestreo de suelo deben escogerse luego de considerar la profundidad de la muestra que se tiene que tomar, las características del suelo, el contenido de humedad, la textura, y la naturaleza del analito de interés (por ejemplo, orgánico o inorgánico, volátil o no volátil).

Los principales equipos de muestreo utilizados para el caso de muestras sólidas son:

Palas o Dragas: se usan para la extracción de la capa más externa del suelo (hasta 10–15 cm); las dragas suelen estar constituidas por dos palas que se mueven en sentidos opuestos.

i. Sondas tubulares: suelen estar formadas por un cilindro de acero que lleva en su interior un tubo de plástico; en su extremo superior dispone de una válvula que permanece abierta durante la inmersión de la sonda y que se cierra una vez que se ha introducido el tubo de plástico a una cierta profundidad. Debido a que permiten tomar muestras a distintas profundidades, son muy utilizadas en el estudio de evoluciones temporales.

ii. Tubos: se clavan de forma manual (generalmente unos centímetros) sobre el punto elegido; se usan para el muestreo de sedimentos recientes a poca profundidad.

iii. Barrenos (eléctricos y manuales): son también útiles para obtener muestras de sólidos a profundidades mayores que aproximadamente 15 cm. Dichos barrenos vienen en diferentes tamaños y las muestras pueden obtenerse directamente de los cortes que ellos producen. Los cortes de suelo deben ser cuidadosamente removidos luego de la perforación para evitar contaminación cruzada entre las capas de suelo.

iv. Zanjado o calicatas: método útil pero su costo es generalmente mayor que el de las otras técnicas. Las zanjas deben excavarse a una profundidad mayor en aproximadamente 30 cm que la profundidad de muestreo deseada. Luego se puede emplearse una pala u otro elemento para cavar lateralmente dentro del suelo expuesto para obtener las muestras.

Al igual que con todos los dispositivos de muestreo, es necesaria una atención cuidadosa al material de la herramienta de muestreo. Para suelos con presencia de especies orgánicas, las herramientas deberían estar hechas de acero inoxidable, y para suelos con presencia de especies inorgánicas deberían estar hechas de polietileno de alta densidad. Los dispositivos de muestreo deben ser descontaminados entre muestras sucesivas para evitar la contaminación cruzada. A veces, puede ser más fácil emplear dispositivos separados para cada muestra y luego hacerlos descontaminar en un laboratorio.

B. Muestreo de Sedimentos

a) Estrategia de Muestreo para Sedimentos

Los sedimentos se pueden dividir en sedimentos de fondo y sedimentos de orilla, los primeros son aquellos que permanecen siempre cubiertos por agua, mientras que los de orilla son los que parte del tiempo no han estado cubiertos por agua. En ambos casos, pero sobre todo en el caso de los de orilla, se trata de muestras no estacionarias e inestables.

Entre las definiciones fundamentales a resolver en el muestreo de sedimentos están las relacionadas con la elección del punto en que éste se va a realizar. Lógicamente se precisa un punto que reúna condiciones de representatividad. Sin embargo, dado el carácter inestable y estacional del depósito sedimentario, sobre todo en el caso de sedimentos de orilla, esta elección no siempre es sencilla y, en ocasiones, un punto considerado representativo durante un determinado tiempo, puede dejar de serlo. Para paliar la posible falta de representatividad de una muestra concreta se considera la obtención de una muestra compuesta, siendo tema de discusión el número de sub-muestras que deben conformarla.

Es importante tener en cuenta que, en función de las estaciones del año, un mismo punto puede presentar diferentes características sedimentarias. Además se deben tener en cuenta consideraciones respecto al volumen o masa de muestra requerida, a la profundidad y también a la metodología del muestreo, lo que incluye el equipamiento a utilizar.

La toma de decisiones está directamente relacionada con los objetivos del muestreo, con los parámetros que se quiere analizar, el tipo de muestra que se desea obtener, con las características del sedimento, la posible vegetación asociada y las condiciones ambientales, orográficas y de accesibilidad.

b) Herramientas para la Toma de Muestras de Sedimentos

Los sedimentos pueden ser colectados a mano con palas/cucharas y sondas especialmente diseñadas, cuando están a baja profundidad en ríos o arroyos, en los que se puede operar mediante vadeo, o en caso contrario mediante equipos más



complejos. Estos suelen ser activados para extraer la muestra en forma remota, mediante mensajeros como acontece con las dragas tipo Ekman o Ponar.

Los factores determinantes en la selección de los equipos apropiados son, entre otros:

- Naturaleza del sedimento a coleccionar (granulometría: arcilla / limo / arena)
- Profundidad de la columna de agua por encima del sedimento.
- Cantidad de sedimento requerido para cumplimentar la totalidad de los análisis a efectuar.
- La magnitud del área del lecho que se desea caracterizar.
- Condiciones hidrológicas reinantes en la zona de muestreo (ejemplo: zona de altas corrientes en ríos y calmas en cuerpos lacustres).
- Posibilidades de operar desde botes, puentes o por vadeo.
- Disponibilidad de equipos auxiliares para operar los equipos muestreadores de tamaño y peso significativo.

C. Muestreo de Agua

Las muestras líquidas que habitualmente se toman durante la investigación de un SPPC son de agua superficial, subterránea y residuos líquidos.

El principal requisito exigido a una muestra es que ésta debe ser representativa del lugar de origen. Los principales tipos de muestreo para el caso de muestras acuosas son:

i. Muestras simples: son aquellas muestras tomadas en un tiempo y lugar determinado para su análisis individual.

ii. Muestras compuestas: son las obtenidas por mezcla y homogeneización de muestras simples recogidas en el mismo punto y en diferentes tiempos.

iii. Muestras integradas: son las obtenidas por mezcla de muestras simples recogidas en puntos diferentes y simultáneamente.

Como norma general, las muestras simples suelen ser poco representativas y sólo proporcionan información puntual de la situación en un momento y lugar dados, pudiendo ser utilizadas en estudios previos o en situaciones en las que el medio a muestrear es muy homogéneo.

En comparación con las muestras sólidas, las muestras líquidas pueden sufrir alteraciones significativas a poco tiempo de haberse extraído del medio en donde se encuentra. Es por ello que deben extremarse las precauciones de transporte en la forma más rápida posible para su recepción al laboratorio.

a) Estrategia de Muestreo de Agua Superficial

El muestreo y el análisis para la determinación de la calidad del agua superficial varían con las condiciones del sitio y los elementos a ser medidos. Típicamente, las muestras son recolectadas de modo que representen cualquier cambio en profundidad y a lo ancho del cuerpo de agua o corriente, y en cantidad suficiente como para permitir la repetición del análisis.

Los cambios en la calidad del agua superficial pueden ser bastante rápidos (por ejemplo como respuesta a las variaciones del clima y las inundaciones). Las muestras de agua tomadas en los cursos de agua se recogen normalmente a intervalos determinados de tiempo. Los sistemas de monitoreo continuo y en tiempo real suministran la información más completa.

Antes de tomar la muestra, se deben registrar las características del cuerpo de agua (por ejemplo, tamaño, profundidad y flujo). Las mediciones de la calidad del agua pueden incluir la temperatura, el pH, la dureza total (como CaCO_3), la alcalinidad (como CaCO_3), la salinidad (partes por mil), la conductividad (como $\mu\text{S}/\text{cm}$), y el oxígeno disuelto (mg/l).

El muestreo debe realizarse empezando por las ubicaciones situadas aguas abajo y en dirección hacia las ubicaciones situadas aguas arriba, de manera que la alteración que se produce no afecte la calidad de las muestras.

En el caso de esteros y ríos, en general las muestras más representativas son aquellas tomadas a la profundidad donde el flujo es turbulento y el agua está bien mezclada, y donde la posibilidad de asentamientos de sólidos es mínima. Dependiendo de la ubicación del punto de muestreo, la profundidad ideal para tomar la muestra oscila entre el 40% y 60% de la profundidad de la corriente de agua.

En aguas tranquilas, como un lago, las muestras de agua superficial deben tomarse a una profundidad aproximada de un metro, en cuerpos de aguas tranquilas poco profundos, la muestra se toma justo debajo de la superficie o media profundidad. Si los registros de temperatura a distintas profundidades indican una estratificación del agua del lago, entonces se deben tomar muestras simples en cada una de las capas observadas. Estas muestras pueden ser analizadas de manera compuesta o individual, dependiendo del propósito del muestreo. El muestreo debe realizarse desde un bote.

En agua marina y de estuarios se deben tener en cuenta las corrientes y las mareas, y por tanto el horario del muestreo. Este debe realizarse desde un bote, e iniciarse desde aguas abajo hacia aguas arriba. La estratificación en estuarios es evaluada mediante el registro de la conductividad/salinidad específica a lo largo de la columna vertical hasta el fondo del estuario.

b) Estrategia de Muestreo de Agua Subterránea

En investigaciones de aguas subterráneas, la escala de toma de decisiones es el acuífero más elevado. Un acuífero es definido como la formación geológica más cercana a la superficie del suelo. Además, se consideran los acuíferos más bajos que están conectados hidráulicamente (USEPA 1992). El tipo de contaminación presente en las aguas subterráneas y la extensión de dicha contaminación deberían ser evaluados tanto en forma horizontal como vertical respecto del acuífero más elevado.

Existen cuatro categorías generales de equipos para recolectar muestras de agua subterránea: equipo para la toma de muestras simples, bombas sumergibles de desplazamiento positivo, bombas aspirantes elevadoras, y equipo de toma de muestras de difusión pasiva (según USEPA, 1992)

A continuación se presentan algunas recomendaciones útiles para seleccionar el equipo de muestreo de aguas subterráneas:

- El equipo de muestreo debe seleccionarse en base a las alteraciones que éste pueda provocar sobre los resultados de los análisis de los analitos de interés, y en base a las características y profundidad de la zona saturada de donde procede la muestra.
- La selección del equipo de muestreo debe considerar la presencia potencial de Fase Líquida Inmiscible Liviana (en inglés, LNAPLs) y Fase Líquida Inmiscible Densa (en inglés, DNAPLs).
- El equipo de muestreo no debe alterar las concentraciones de los analitos, causar pérdidas de analitos por absorción o volatilización, o causar el aumento de analitos por desorción, degradación o corrosión. Debe ser de un material inerte que reduzca la posibilidad de alterar las condiciones químicas de las aguas subterráneas.
- El equipo de muestreo debe causar una agitación mínima de la muestra y reducir o eliminar el contacto de las muestras con la atmósfera durante su traslado. No debe permitir la volatilización o aireación de las mismas si ello pudiera alterar las concentraciones de los analitos de interés.



- El muestreo deberá realizarse utilizando el mismo equipo que el utilizado para purgar el pozo de monitoreo, para así minimizar la agitación de la columna de agua, lo cual podría aumentar la turbidez, la volatilización o el oxígeno en el agua.

Independiente del equipo de muestreo que se emplee, es necesario tomar la muestra una vez que se establecen los parámetros fisicoquímicos, dado que esto da cuenta de que el agua que se extrae es efectivamente del acuífero. Los parámetros que se deben chequear son: pH (no debe variar en más de 0.2 unidades), conductividad eléctrica (se considera estabilizadas cuando se encuentran en un rango de aproximadamente 5% dentro de las dos últimas mediciones), oxígeno disuelto y turbiedad (variación igual o inferior a aproximadamente 10% dentro de las dos últimas mediciones) y temperatura (no debe variar más de 0,2°C dentro de las dos últimas mediciones).

Para determinar presencia o ausencia de contaminantes en el agua subterránea se debe recurrir a la posibilidad de aprovechar pozos, punteras o norias existentes en el sitio o en las inmediaciones. Un elemento importante a considerar es la variación temporal de la distribución de los contaminantes así como la variación del nivel freático en las aguas subterráneas.

Para efectuar el muestreo de agua subterránea es deseable el uso de bombas sumergibles que permiten la realización de un muestreo continuo. Es posible emplear también dispositivos como tubos bailers para la toma de muestras puntuales.

c) Estrategia de Muestreo de Residuos Líquidos

Para el muestreo de residuos líquidos abandonados en bidones y tanques es aconsejable utilizar un toma muestras tipo tubo bailer o, en su defecto, un tubo de vidrio que se introduce en el líquido y cuyo extremo superior se cierra, ejerciendo un efecto pipeta. En ocasiones también se emplean muestreadores Coliwasa (Composite Liquid Waste Sampler) o bombas Bacon (para muestreo de fondo).

Siempre es aconsejable emplear equipos de muestreo de un solo uso, no añadir reactivos para evitar riesgos de reacciones imprevistas y extremar las precauciones durante la toma de muestras.

d) Herramientas para Toma de Muestras de Agua

Los principales equipos utilizados en el caso de muestras acuosas son:

i. Botellas toma-muestras: se toma directamente mediante la botella o recipiente que se va a enviar al laboratorio o que se utilice para las determinaciones in situ; se emplean en la toma de muestras de redes de distribución, canales de riego, fuentes, pozos dotados de bomba de extracción, entre otros.

ii. Botellas lastradas: botellas de plástico o cristal, que se encuentran lastradas y unidas mediante una cuerda o cadena, la cual permite a la botella abrirse a la profundidad deseada; se utilizan en ríos, embalses, pozos sin bombas de extracción, entre otros.

iii. Tubo Bailer: son equipos con dos tapas y que a la profundidad deseada, estirando de una cuerda o tubo, se cierra tomando la muestra; se usa en el muestreo de aguas profundas (pozos, embalses, ríos, otros).

iv. Coliwasa (Composite Liquid Waste Sampler): consiste en un tubo de cristal, plástico o metal, equipado con un cierre final que puede ser abierto cuando el tubo es introducido en el material que se quiere muestrear; se utiliza principalmente para muestrear líquidos que tienen varias fases inmiscibles.

v. Muestreadores automáticos: existen dos variantes principales, los dependientes del tiempo (toman muestras discretas o compuestas, sin tener en cuenta las variaciones del caudal) y los dependientes del volumen (tienen en cuenta las variaciones de caudal).

vi. Bombas sumergibles de desplazamiento positivo: equipos utilizados para el muestreo de aguas subterráneas. Algunos de estos son bombas de membrana (bladder), bombas eléctricas de rotor helicoidal, bombas de pistón a gas, bombas eléctricas de engranajes y bombas centrífugas.

D. Muestreo de Aire Intersticial del Suelo

a) Estrategia de Muestreo de Aire Intersticial del Suelo

En los últimos años se han desarrollado numerosos métodos, tanto para la toma de muestras como para la detección y caracterización de gases y vapores en suelo.

- El muestreo de aire ambiente difiere en sus características del muestreo del aire intersticial y suele realizarse cuando puede existir afección de la salud humana (por ejemplo, en ambientes interiores) como consecuencia de la migración de gases o compuestos volátiles desde el emplazamiento a su entorno.
- El objetivo de la toma de muestras de aire intersticial del suelo es obtener muestras representativas de la composición y concentración de los gases presentes a la profundidad del suelo a la que se han tomado las mismas. Para asegurar su representatividad, los equipos de muestreo deben purgarse, recomendándose además extremar las medidas de limpieza de los equipos.
- El muestreo del aire intersticial del suelo ofrece una aproximación a la presencia y distribución de la contaminación de sustancias volátiles y semivolátiles. De esta forma se puede optimizar el posterior muestreo del suelo, orientándolo en función de los resultados de la investigación del aire intersticial.

- La profundidad de toma de muestras no suele superar los 5 metros y tiene varias aplicaciones en sitios donde se han depositado residuos. Un ejemplo de ello son los vertederos o estanques de almacenamiento de combustibles, donde la toma de muestras de aire intersticial aporta información útil para acotar las zonas contaminadas y efectuar una evaluación preliminar de las posibilidades de migración de las sustancias al entorno del emplazamiento, con los consecuentes riesgos de inhalación y/o explosión.

b) Herramientas para la Toma de Muestras de Aire Intersticial del Suelo

El muestreo del aire intersticial puede llevarse a cabo mediante:

i. Sistemas pasivos: consistentes fundamentalmente en materiales o medios absorbentes que se insertan en el suelo (usualmente varillas impregnadas de carbón vegetal o de algún elemento absorbente específico) por un periodo determinado (desde días a semanas). La varilla o elemento colector es posteriormente recuperado y analizado en laboratorio.

ii. Sondas de muestreo: método consistente en introducir sondas hasta la profundidad del suelo deseada, desde donde se extrae la muestra mediante una bomba para traspasarla posteriormente a un recipiente o medio absorbente adecuado (tubos Tenax, tubos de carbón activo, bolsas Tedlar, otros) que se envía al laboratorio o se analiza en campo mediante analizadores o detectores portátiles.

También es posible muestrear la fase gaseosa en pozos de control construidos especialmente para tal fin o para gas y agua subterránea. En estos pozos de control sólo es posible el muestreo de compuestos volátiles. Dichos pozos son similares a los realizados para aguas subterráneas en cuanto a los materiales con que se equipan (filtros de grava, sellado, otros), aunque suelen ser de diámetro menor (2,5-5 cm). El muestreo en ellos se realiza normalmente mediante bombas de vacío.



V. Muestras de Control o Background

El nivel basal o background se define como la concentración natural de un elemento en un suelo que no ha sido alterado por la actividad humana¹². Por tanto, un suelo está libre de contaminantes cuando está dentro de estos niveles basales.

Los niveles background son altamente dependientes de la composición del material parental y de los procesos de mineralización que conllevan a la formación del suelo, pero también del tamaño de las partículas, arcillas y contenido de materia orgánica. Como consecuencia, el contenido de elementos traza varía ampliamente, haciendo inapropiado el uso universal de las concentraciones background genéricas. En resumen, los valores background están caracterizados por una gran variabilidad espacial y temporal.

Debido a lo anterior, las muestras control o background deben extraerse en zonas sin o con escasa intervención antrópica, que se emplazan en las cercanías del Suelo con Potencial Presencia de Contaminantes, dado que los procesos geológicos de formación del suelo deben ser similares.

Por la alta variabilidad espacial y temporal de los valores background, su determinación es compleja y requiere de un número de muestras que permita determinar un valor representativo. Este número depende del área que se trate, pero, como referencia general, deben considerarse al menos ocho muestras para su determinación.

VI. Análisis Químico de Matrices Ambientales

Una vez colectadas las muestras se debe realizar una coordinación con el laboratorio que se hará cargo de los análisis. De acuerdo a la naturaleza y concentración estimada de los contaminantes de interés, se deberán seleccionar las técnicas analíticas más idóneas, considerando el límite de detección, tiempo de análisis, costo, entre otros aspectos de las mismas.

El laboratorio elegido deberá contar con una serie de requisitos que aseguren la calidad y rigurosidad de los procedimientos analíticos, fundamental en la confianza que se depositará en los niveles de concentraciones que se informen y que determinará la necesidad de continuar o no con la investigación del SPPC.

En el caso chileno, los laboratorios a seleccionar deben contar al menos con Certificación del Instituto Nacional de Normalización (NCh-17025), que acredite su calidad analítica y la de sus procedimientos básicos de funcionamiento.

Algunos de los requerimientos con los que debe cumplir el laboratorio son:

- Aplicación de procedimientos analíticos normados y reconocidos nacional o internacionalmente según su disponibilidad en el país.

12 GIL, C., RAMOS-MIRAS, y J., BOLUDA, R. (2002). Niveles estándar de Cu, Zn y Co y evaluación de la contaminación en los suelos de los invernaderos de la comarca del poniente (Almería-España). *Edafología* 9 (3) pp. 283-294.



Posterior a la selección del laboratorio idóneo para realizar la caracterización analítica de las muestras colectadas por el equipo de terreno, se debe coordinar con éste la disponibilidad de proveer materiales para el muestreo, teniendo presente que los materiales dependen de los elementos a analizar. Esto se detalla en Requerimientos de Toma de Muestras y Preservación: Líquidos; Sólidos; Gases; Materias Primas y Alimentos, elaborado por el Instituto de Salud Pública (ISP); Unidad de emergencia y desastres químicos.

VII. Envasado, Conservación y Transporte de las Muestras

Respecto al envasado, este debe hacerse en forma adecuada para evitar lo siguiente:

- Contaminación de la muestra.
- Pérdida de algunos de los contaminantes por difusión a través del material de envasado.
- Modificación de algunas características de la muestra debido a la introducción de aire o la alteración de la estructura del suelo.

Como norma general, las muestras en las que se van a determinar compuestos inorgánicos pueden envasarse en recipientes de material plástico, mientras que aquellas en las que se requiera el análisis de compuestos orgánicos se deben almacenar en recipientes de vidrio o metálicos.

Respecto a la conservación, las muestras líquidas se alteran más rápidamente que las sólidas después de haber sido tomadas. Para evitar este deterioro, las muestras deben preservarse adecuadamente.

Una vez finalizado el proceso de toma de muestras, ésta deben empacarse con cuidado en un cooler o nevera para evitar que se dañen los envases de las muestras y resguardar la temperatura, luego de lo cual deben ser enviadas al laboratorio lo antes posible después de recolectarlas.

Cabe mencionar que los laboratorios proveen todos los recipientes, etiquetas, químicos preservantes, materiales de filtración en terreno y formularios de Cadena de Custodia para la toma de muestras rutinarias que les son entregadas posteriormente para análisis.

A continuación se presentan algunas consideraciones específicas, dependiendo del componente ambiental muestreado.

- Implementación de procedimientos de seguimiento y control de las muestras ingresadas al laboratorio para su análisis, proporcionando al cliente formularios de Cadenas de Custodia, en las que se permita detallar las muestras que se les están enviando y los análisis requeridos; fecha del muestreo; ingreso de la muestra al laboratorio y los responsables a cargo de las maniobras, tanto del muestreo como de los análisis a realizar.
- Detalle impreso y disponible de todos los procedimientos analíticos normados que el laboratorio ejecute.
- Registro de todas las operaciones que en él se realicen dirigidas a los procedimientos analíticos, entre ellas: el registro del control de calidad del lavado de material de vidrio u otro utilizado en los análisis; el registro de la preparación y caducidad de las soluciones patrones utilizadas en los análisis y el registro tanto del funcionamiento como de la mantención de los equipos analíticos.
- Capacidad logística e instrumental que asegure la entrega de resultados de los análisis requeridos en plazos razonables, 10 días hábiles aproximadamente, dependiendo del análisis.

A. Conservación y Transporte de Muestras Sólidas

A pesar de que las muestras sólidas son en general más estables que las líquidas, es preciso conservarlas de forma que mantengan su integridad química. Teniendo este aspecto en cuenta, el material de envasado se elegirá considerando siempre que las características de las muestras no han de sufrir alteración alguna.

B. Conservación y Transporte de Muestras Líquidas

Si el análisis no va a ser inmediato, debería ser suficiente para la conservación de las muestras líquidas la adición en el campo o en el laboratorio de un agente químico estabilizante. Sin embargo, este tratamiento no siempre es el más adecuado ya que la adición de sustancias extrañas a la solución acuosa puede producir la precipitación de parte de la materia insoluble, forzando de esta forma la necesidad de filtrar la muestra antes del análisis. Además algunos de estos agentes estabilizantes pueden reaccionar con la materia insoluble de la muestra liberando sustancias a la disolución y originando de esta manera probables desviaciones de los resultados analíticos. Por todas estas razones, el procedimiento general más efectivo es el traslado y almacenamiento de las muestras a una temperatura entre 4 y 6°C hasta que se realiza el análisis, el que debe hacerse inmediatamente. En caso de que no sea posible esto último, y para algunos análisis específicos, de todas formas deben ser usados preservantes.

C. Conservación y Transporte de Muestras Gaseosas

La detección y caracterización de gases se realiza habitualmente in situ. No obstante, los equipamientos disponibles no siempre son capaces de alcanzar los objetivos de identificación requeridos, por lo que las muestras deben ser trasladadas a un laboratorio cualificado para su análisis.

Un aspecto fundamental de la manipulación de las muestras gaseosas es la elección del recipiente óptimo para su conservación y que elimine cualquier posibilidad de fuga o contaminación. Normalmente se utilizan, para la mayoría de los gases y vapores, contenedores metálicos que pueden estar presurizados si se considera necesario. No se recomienda el uso de recipientes de materiales plásticos por dos razones: son relativamente permeables a muchos gases y además tienen tendencia a absorber vapores.

Cuando los gases han sido tomados en los recipientes adecuados, no se requiere ningún tipo de medidas especiales para su transporte al laboratorio.

VIII. Análisis in situ

En la mayoría de las investigaciones, las muestras tomadas se envían al laboratorio para someterlas al programa de análisis diseñado previamente. Sin embargo, en algunas circunstancias puede tener interés complementar los análisis de laboratorio con determinaciones realizadas in situ con la ayuda de equipos portátiles. Estos análisis son muy útiles, ya que permiten obtener resultados y tomar decisiones en un breve plazo, no obstante, dado el bajo grado de resolución que normalmente ofrecen, deben entenderse como técnicas auxiliares y complementarias de las determinaciones de laboratorio.

A. Análisis in situ de Muestras Sólidas

Para estas determinaciones in situ se suelen utilizar los siguientes equipos:

- Detectores de metales por espectroscopía de fluorescencia por rayos X (XRF).
- Detectores de fotoionización (PID) o detectores de ionización por llama (FID), que pueden detectar compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles.
- Tubos de detección.

En el cuadro siguiente se resumen las principales características, aplicaciones, ventajas e inconvenientes de cada uno de estos equipos.



Instrumento medida	Principio de funcionamiento	Aplicación	Tipo de Determinación	Ventajas	Limitaciones
PID	Fotoionización	Orgánicos volátiles, vapores inorgánicos	Cualitativa o semicuantitativa	Gran número de muestras/día. No destruye la muestra y precisa poca cantidad	No identifica compuestos individuales. No detecta gases tóxicos (CCl ₄ , HCN, otros). Costo del equipo elevado.
XRF	Espectroscopía de fluorescencia por rayos X	Metales Pesados y metaloides	Cuantitativa	Gran número de muestras/ día (200-400)	No aplicable a Hg y Be. Límite de detección variable según modelo, interferencias, densidad de la matriz, otros.
Tubos colorímetros	Adsorción	Compuestos volátiles y semivolátiles	Cualitativa	zonas amplias de estudio en tiempos reducidos	Detección limitada de compuestos según tubos empleados
Tubos de detección	Inmunoensayo	Compuestos orgánicos (PAH's, pesticidas, PCB's, herbicidas, hidrocarburos de petróleo), Metales.	Semicuantitativa	Alto rendimiento (30 ensayos/hora). Fácil aprendizaje. Costes reducidos.	Tiempo de vida media de los anticuerpos limitados. Alta especificidad de las determinaciones.

TABLA 6 Equipos más Frecuentes de Análisis **in situ** de Muestras Sólidas
Fuente: Manual Práctico. Investigación de la Contaminación del Suelo. IHOBE

B. Análisis in situ de Muestras Líquidas

Para la caracterización general se utilizan habitualmente analizadores portátiles de lectura directa, basados generalmente en propiedades electroquímicas. Estos equipos pueden ser utilizados para cuantificar algunas propiedades que cambian rápidamente una vez la muestra ha sido extraída y expuesta a la atmósfera. Entre las propiedades que se determinan de esta manera se encuentran el pH, la conductividad, la temperatura, la concentración de oxígeno disuelto y la concentración de amonio.

Los instrumentos de medida (conductivímetros, pHmetros, oxímetros, otros) son de diversa índole y complejidad, existiendo equipos capaces de determinar varios de estos parámetros simultáneamente.

En este caso los resultados obtenidos mediante estas técnicas pueden llegar a ser más exactos que los obtenidos para muestras que han sido estabilizadas in situ para ser posteriormente analizadas en el laboratorio, siempre que se preste una

especial atención a la selección y al uso del equipo. En consecuencia, estas determinaciones deberán realizarse in situ siempre que sea posible.

Los equipos empleados para realizar este tipo de mediciones son los mismos que para el análisis in situ de muestras sólidas. Mediante espectroscopía de fluorescencia por rayos X (XRF), es posible detectar metales pesados en líquidos (por ejemplo, plomo en gasolina), elementos ligeros (por ejemplo fósforo, azufre, cloro en soluciones orgánicas), metales pesados en efluentes líquidos industriales, PCBs en aceites de transformadores, otros. Su mayor limitación es que requiere normalmente la preconcentración de la muestra.

Mediante los detectores de fotoionización (PID) e ionización por llama (FID) es posible detectar compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles de manera cualitativa y semicuantitativa.

C. Análisis in situ de Gases y Vapores

Debe concederse una atención especial a la determinación in situ de la composición gaseosa, tanto de la atmósfera general como del propio aire del suelo, haciendo uso de instrumentación portátil. Los análisis in situ de gases o vapores también pueden dirigirse a la detección de compuestos con especiales características de peligrosidad.

Estas técnicas permiten detectar diferentes tipos de gases, tales como el ácido sulfhídrico, metano o vapores explosivos, y proporcionan información que puede aplicarse al diseño del programa de muestreo de suelos y aguas. Esta práctica es la

más comúnmente utilizada aunque, cuando se requiera la medida y monitorización en lugar de únicamente la detección, también es posible analizar gases in situ desplazando hasta el emplazamiento un laboratorio móvil.

Los instrumentos más comúnmente utilizados para el análisis in situ de gases y vapores son los que se indican en la siguiente Tabla.

Instrumento medida	Principio de funcionamiento	Aplicación	Tipo de Determinación	Ventajas	Limitaciones
Explosímetro	Sensor catalítico	CO, SH ₂ , NO ₂ , SO ₂ , Cl ₂ , CH ₄ , O ₂ y N ₂	Cualitativa	Versátil y de fácil uso. Respuesta inmediata.	Detección selectiva de compuestos según los sensores seleccionados
Detector de gas vertedero	Absorción en el espectro infrarrojo	Gases de vertedero (CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , N ₂)	Cualitativa	Medidas Instantáneas. Fácil Uso y Reducido tamaño.	Detección selectiva de compuestos según los sensores seleccionados
Cromatógrafo de Gases	Cromatografía de gases	COV y semivolátiles, pesticidas, PCB's, herbicidas, hidrocarburos derivados del petróleo	Cuantitativa	Límites de detección bajos (Hasta ppb).	Costes elevados. Requiere personal especializado. No totalmente portátil.
Tubos calorimétricos	Adsorción	Compuestos volátiles y semivolátiles	Cualitativa	Zonas amplias de estudio en tiempos reducidos	Detección limitada de compuestos según tubos empleados

TABLA 7 Equipos más frecuentes de análisis in situ de Muestras Gaseosas
Fuente: Manual Práctico. Investigación de la Contaminación del Suelo. IHOBE



IX. Procedimientos de Control y Aseguramiento de Calidad (QA/QC)

Los trabajos de campo y muestreo deben contemplar una serie de aspectos que permitan garantizar su calidad y eficiencia. El plan y protocolo de muestreo deberá indicar cómo desarrollar las actividades, que van desde la forma de llevar a cabo el muestreo, el envasado y almacenamiento de las muestras, su transporte y seguridad, hasta la recepción de las muestras en el laboratorio, entre otros aspectos.

Para asegurar la calidad del proceso de toma de muestras, a continuación se presentan algunas de las precauciones que deben ser tomadas:

- El material necesario para la operación debe ser limpio y comprobado cuidadosamente antes de la salida al terreno;
- Las muestras deben ser extraídas siguiendo rigurosamente el protocolo de muestreo, tanto en los aspectos referentes a la toma en sí, como en lo relativo a la limpieza del material;
- Los criterios de eliminación de materiales extraños (piedras, trozos de vidrio, etc.) deberán ser claros y preestablecidos con antelación;
- Cualquier operación realizada con la muestra deberá ser rigurosamente documentada, siguiendo los protocolos al efecto;
- Los recipientes que contienen las muestras deben ser etiquetados con claridad y de forma indeleble, con el código de identificación de la muestra;
- Las muestras no son inertes por lo que la demora hasta el momento del análisis debe ser reducida al mínimo;
- Debe comprobarse que todos los materiales utilizados en la toma de muestras no producirán interferencias en el análisis de las mismas. Para ello es preciso emplear blancos de campo (ver explicación más abajo);
- La información asociada a cada muestra debe ser registrada en el campo.
- Debe asegurarse el mantenimiento del tratamiento de conservación (refrigeración, aditivos, otros) durante el tiempo que dura el transporte;
- Los envases con las muestras individuales serán introducidos en recipientes mayores estancos y resistentes, preferiblemente de madera o metal;
- Dentro de estos recipientes, las muestras serán empaquetadas con un material de relleno aislante que los inmovilice;
- Los recipientes en los que se realice el traslado deberán estar clara y visiblemente identificados, de forma indeleble;
- Cada lote dispondrá de un documento con toda la información referida a las muestras que lo integran;
- Deberá mantenerse en todo momento la integridad de la cadena de custodia;
- Las condiciones de transporte se evaluarán mediante el empleo de blancos de viaje.

El Control y Aseguramiento de Calidad incluye la recolección y análisis de muestras blanco o control en el proceso de toma de muestras, estos corresponden:

A. Blancos en el Proceso de Toma de Muestras

i. Blanco de campo o de terreno. Se emplea para evaluar la contaminación accidental de la muestra durante el proceso de toma (por ejemplo debido a la presencia de gases o vapores en el aire). El blanco de campo es una muestra preparada en el laboratorio usando agua grado reactivo o otra matriz. En terreno la muestra es expuesta al ambiente, abriendo el envase un espacio de tiempo igual al necesario para introducir una muestra en el mismo y vuelta a cerrar. En blanco se analiza después en el laboratorio.

ii. Blanco de enjuague de equipos. Permite evaluar la efectividad de la limpieza de los equipos. En general, se recolecta uno por cada equipo, cada 20 muestras, o uno por día. El blanco se compone de agua de enjuague, tomada después del lavado y antes de un nuevo uso.

iii. Blancos de viaje (solo análisis de susts. orgánicas volátiles). Permiten determinar si se ha producido contaminación cruzada por exposición a compuestos orgánicos volátiles durante el almacenamiento o el transporte. El blanco de viaje se compone de agua libre de contaminantes de interés (agua desionizada, si corresponde), que se transporta al sitio en el cooler portamuestras desde el inicio y hasta el final del proceso, es decir, se traslada durante todas las actividades de muestreo hasta su entrega en el laboratorio de análisis.

iv. Blanco de calibración o comprobación. Este tipo de blanco se utiliza para detectar posibles contaminaciones del instrumental de medida o del agua destilada. Es efectuado por el laboratorio.



5.2.2.3 Comparación con Valores de Referencia

Una vez que se cuenta con la concentración de los contaminantes de interés en los diferentes medios ambientales muestreados, se debe proceder a definir si estas concentraciones son significativas o pueden implicar un eventual riesgo, en este caso, para la salud de la población. Para esto se deben comparar las concentraciones detectadas en los diferentes medios con valores de referencia.

Los valores de referencia se consideran como niveles de alerta para la protección de la salud de las personas, pudiendo emplearse valores nacionales (si existiesen) o internacionales. Para el caso del suelo, debido a que no existe en Chile una normativa específica, ni de rango legal ni reglamentaria, que regule expresamente la calidad de los suelos, es necesario recurrir a valores de internacionales. Para el caso del agua y el aire pueden emplearse valores nacionales de calidad ambiental.

En la normativa internacional referente a la calidad de los suelos, existe una gran cantidad de valores de referencia desarrollados para diferentes contextos, estos son derivados para cada medio y contaminante usando escenarios de exposición estándares y estableciendo como objetivo niveles de riesgo aceptable conservadores. En este sentido, para hacer comparaciones con las concentraciones de los contaminantes en el SPPC, es importante seleccionar valores que sean adecuados para el uso de suelo actual o futuro que se estudia. El uso del suelo determinará los escenarios de exposición específicos, incluyendo las características de la población que está expuesta y la frecuencia de dicha exposición.

En caso de no existir referencia nacional e internacional frente a un compuesto o elemento es posible comparar su concentración con los valores de la Guía de Evaluación para Medios Ambientales (EMEG por sus siglas en inglés) los cuales son propuestos por la ATSDR. Para su cálculo se toma en cuenta la dosis en la cual el contaminante no causa daño alguno.

Con el objeto de seleccionar valores de referencia que se ajusten lo más posible al SPPC en estudio y a la realidad local, se deberán efectuar al menos las siguientes actividades:

- Revisión de valores guías y normas de referencia nacional e internacional para las concentraciones de cada contaminante, asociado a cada componente ambiental, considerando el escenario de exposición que se evalúa.
- Análisis de los niveles Blanco o Background presentes en suelos no intervenidos en las cercanías del SPPC analizado.

- Consideración de las características geológicas y climatológicas del SPPC.

Detalles sobre los valores de referencia mencionados previamente se presentan a continuación:

I. Normas de Calidad Nacionales

En la Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, se define a las normas primarias de calidad ambiental (NPCA) como aquellas que establecen los valores de las concentraciones de elementos (o energía o sus combinaciones) cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o salud de la población, definiendo además los niveles que originan situaciones de emergencia. Éstas son válidas para todo el territorio nacional.

En Chile existen normas de calidad para las matrices aire y agua, las que se presentan a continuación:

- a) Norma Chilena sobre Agua Potable: El Decreto Minsal N°446/06 declara oficial la Norma Chilena NCh 409/1_ Of_2005 Agua Potable – Parte 1: Requisitos. Esta norma establece los requisitos de calidad que debe cumplir el agua potable en todo el territorio nacional, aplicándose al agua potable proveniente de cualquier servicio de abastecimiento.
- b) Norma Chilena sobre Requisitos de Calidad del Agua para Diferentes Usos: El Decreto MOP N°867/78 declara oficial la Norma Chilena NCh 1333. Of78. modificada en 1987. Fija criterio de calidad del agua de acuerdo a requerimientos científicos, referidos a aspectos físicos, químicos y biológicos, según el uso determinado. Entre estos incluye el uso recreacional y para riego.
- c) Norma de Calidad Primaria para las Aguas Continentales Superficiales Aptas para Actividades de Recreación con Contacto Directo: D.S 143/09 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Establece los niveles de calidad ambiental que deberán tener las aguas continentales superficiales del país, aptas para las actividades de recreación con contacto directo, de manera de salvaguardar la salud de la población.
- d) Norma de Calidad Primaria para la Protección de las Aguas Marinas y Estuarinas Aptas para Actividades de Recreación con Contacto Directo: D.S 144/09 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Establece los niveles de calidad ambiental que deberán tener las aguas marinas y estuarinas del país aptas para las actividades de recreación con contacto directo, de manera de salvaguardar la salud de la población.
- e) Norma de Calidad Primaria para MP10: D.S. N° 59/98 Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Establece norma de calidad primaria para material particulado respirable MP10, en especial de los valores que definen situaciones de emergencia.
- f) Norma Primaria de Calidad Ambiental para Material Particulado Fino Respirable MP 2,5: D.S. N°12/2011 del Ministerio de Medio Ambiente. Establece la norma primaria de calidad ambiental para material particulado fino, MP2,5 cuyo objetivo es proteger la salud de las personas de los efectos agudos y crónicos de dicho contaminante, con un nivel de riesgo aceptable.
- g) Norma de Calidad Primaria de Aire para Dióxido de Nitrógeno (NO₂): D.S. N° 114/02 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. Establece norma primaria de calidad de aire para dióxido de nitrógeno (NO₂)
- h) Norma de Calidad Primaria de Aire para Ozono (O₃): D.S. N° 112/02 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. Establece norma primaria de calidad de aire para ozono (O₃)
- i) Norma de Calidad Primaria de Aire para Dióxido de Azufre (SO₂): D.S. N° 113/02 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. Establece norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre (SO₂)
- j) Norma de Calidad Primaria de Aire para Monóxido de Carbono (CO): D.S. N°115/02 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Establece norma primaria de calidad de aire para monóxido de carbono (CO)
- k) Norma de Calidad Primaria para Plomo en el Aire: D.S.N°136/00, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Establece norma de calidad primaria para plomo en el aire.

II. Valores de Referencia Internacionales

Por lo general, los valores de referencia internacionales se presentan como umbrales de concentración, que para el caso del agua en general se expresan en (ug/l), en aire en (ug/m3) y en suelo en (mg/kg). Las implicancias de que se superen estos valores varían de acuerdo a los marcos normativos respectivos y van desde la necesidad de nuevas investigaciones a la necesidad de medidas correctivas.

En la Tabla 8 se presentan algunos valores de referencia internacionales para las matrices agua, aire y suelo.

Sustancia/ Componente	Agua			Aire		Suelo		
	Bebida (µg/l o ppb)	Pesca (µg/l o ppb)	Irrigación (µg/l o ppb)	Externo (µg/m3)	Intramuro (8hrs) (µg/m3)	Residencial (mg/kg o ppm)	Agricultura (mg/kg o ppm)	Industr. (mg/kg o ppm)
Cadmio	3 (WHO)	0.2 (CAN)	10 (CAN)	0.12 (FL) 0.3 (WHO)	5 (OSHA)	14 (CAN)	1.4 (CAN)	192 (CAN)
Cromo	50 (WHO)		Cr(III) = 4.9; Cr(IV) = 8 (CAN)	0.12 (FL)	1 (NIOSH)	64 (CAN)	64 (CAN)	2300 (CAN)
Plomo	10 (WHO)		200 (CAN)	0.15 (3m avg) (EPA)	50 (ACGIH)	400 (EPA)	1200 (EPA)	1200 (EPA)
Mercurio	1 (WHO)	2 (USEPA)	2 (USEPA)	1 (WHO)	50 (ATSDR)	170- inorganico, 1- elemental, 11-organico (EU)	80-inorganico, 26-elemental, 8-organico (EU)	3,600- inorganic, 26- elemental, 410- organico
Asbesto	7 MFL (mill fib/L) (EPA)			2 (VA)	0.1 fib/cc (OSHA)	NA	NA	NA
Benceno	1 (EU)	370 Agua Fresca, 110 Marina (CAN)	no disponible (usar 100)	5 (EU)	0.1 ppm (OHSA)	0.330 (EU)	0.07 (EU)	95 (EU)
PAHs sum.: Benzo(a) Pireno & otros	0.1 (EU)	10 (EU)	10 (EU)	0.21 (24 hrs AZ).0003 (annual FL) 0.01 (EU)	0.2 (OSHA)	1 (CAN)	0.1 (CAN)	10 (CAN)
Cianuro	50 (EU)			125		0.9 (CAN)	0.9 (CAN)	8 (CAN)
Dioxinas	0.00003 (EPA)							
Etilbenceno	300 (WHO)		530 (EPA)		100 ppm (OSHA)	1 (CAN)	0.02 (CAN)	0.02 (CAN)
PM 2.5	NA	NA	NA	25 (prom 24hr) / 10 (prom anual) (WHO)		NA	NA	NA
PM 10	NA	NA	NA	50 (prom 24 hr) / 20 (prom anual) (WHO)		NA	NA	NA
PCBs	0.5 (EPA)			0,079	500 - 1000 (OSHA)	1.3 (CAN)	0.5 (CAN)	33 (CAN)
Tolueno	700 (WHO)			900		0.8 (CAN)	0.8 (CAN)	0.8 (CAN)
Tricloroetano	10 (EU)			648		0.01 (CAN)	0.01 (CAN)	0.01 (CAN)

TABLA 8 Ejemplo de Valores de Referencia

Fuente: <http://www.blacksmithinstitute.org/coordinator-resources.html>

Las comparaciones directas con criterios de calidad o valores de referencia internacionales sólo pueden efectuarse si se tiene un entendimiento adecuado de los escenarios de exposición y niveles de riesgo objetivo asumidos para su derivación, además del contexto en el cual dichos criterios son usados.

Si bien hay varias situaciones posibles, se pueden distinguir dos tipos principales de valores de referencia: (i) aquellos orientados a decidir si se llevará a cabo alguna acción sobre un SPPC en particular, o (ii) aquellos orientados a determinar los objetivos de remediación. Para el caso del componente ambiental suelo, el primer tipo de criterio se podría relacionar con una concentración sobre la cual el suelo presenta un "riesgo inaceptable" y por tanto, su superación da cuenta de la necesidad de una intervención. El segundo se relacionaría a un valor objetivo de remediación, es decir, una concentración hasta la cual los SPPC deberían ser remediados, o una concentración establecida como objetivo a largo plazo para el suelo como un todo. En algunos países estos dos tipos básicos de criterios son representados por valores idénticos. En otros, la "intervención" ocurre a una concentración mayor que la concentración establecida como objetivo.

De acuerdo a lo antes señalado, existen diversos tipos de valores de referencia, como valores guía, valores de intervención, valores de limpieza, valores de corte, entre otros. Cada uno de estos tiene distintos usos e implicancias si es que son superados, de acuerdo a lo establecido en los países en los que estas normativas rigen.

La fuerza de la aplicación también puede variar. En algunos países, la indicación de uso de los valores de referencia genéricos es obligatoria y la derivación de los valores alternativos basados en la evaluación de riesgos específicos del lugar sólo es posible bajo ciertas condiciones. En otros países los valores de referencia se proporcionan a los evaluadores de riesgos, como orientación genérica sobre la importancia de las concentraciones de contaminantes en el suelo en un primer nivel de investigación, seguido siempre en caso de superación, por una evaluación de los riesgos específicos del lugar en un nivel de investigación superior.

A continuación se presentan algunas normativas internacionales que son empleadas por ciertos países para regular la calidad del suelo y su gestión:

A. Estados Unidos de América

Uno de los grupos de valores de referencia empleados en EE.UU son los Niveles de Detección de Suelos (Soil Screening Levels, SSLs) usados en el programa de sitios contaminados "Superfund".

Los SSLs corresponden a concentraciones de referencia que no resultan en efectos negativos a la salud, estos han sido derivados para 110 químicos. Son determinados por cálculos de exposición que permiten establecer niveles "aceptables" para un determinado contaminante presente en suelo para las vías de exposición ingestión e inhalación. Para esto, combinan los criterios de toxicidad de la US EPA con parámetros de exposición genéricos con la finalidad de ser sobreconservadores, de manera de proteger a la gran mayoría de la población. Los SSLs también consideran el potencial de ciertos contaminantes de migrar a aguas subterráneas.

Los SSLs no deben entenderse como niveles objetivo de limpieza o remediación, estos solo se emplean para agilizar el proceso de investigación de los suelos, ayudando a los evaluadores a seleccionar áreas de interés, vías de exposición y/o sustancias que pudieran ser de preocupación en el SPPC en estudio. Cuando un contaminante es menor que el respectivo SSL no se recomienda tomar otras acciones o realizar otros estudios, de esta manera los SSLs permiten fijar los recursos en aquellas áreas y contaminantes de interés prioritarios.

B. Canadá

En 1996 fue publicado el "Protocolo para la Derivación de Directrices de Calidad de Suelo para el Ambiente y la Salud Humana" (Protocol for the Derivation of Environmental and Human Health Soil Quality Guidelines) por el Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME). Este protocolo fue publicado con el objetivo de proveer un método para reemplazar los criterios de remediación provisionales para suelo (CCME 1991), para generar valores de referencia científicamente defendibles y calculados en base a consideraciones técnicas y de gestión. El protocolo fue revisado y actualizado el año 2006, documento actualmente vigente.

Los valores de referencia, denominados esta vez "valores guía" o "directrices" en vez de "criterios", son desarrollados para cada sustancia, según sea necesario, después de una revisión exhaustiva de sus características físico-químicas, de los niveles background en los suelos de Canadá, de la toxicidad y del comportamiento de cada sustancia en el ambiente. Algunas "directrices" son desarrolladas para mezclas de sustancias comunes, y con toxicología y propiedades físico-químicas estrechamente relacionadas.

En el documento los "valores guía" o "directrices" son definidos como "límites numéricos o enunciados recomendados para apoyar y mantener los usos designados del suelo". Idealmente, se considera que el suelo a los niveles de los "valores guía" mantiene un sano funcionamiento ecosistémico, con lo que es posible conservar los usos actuales y futuros probables del sitio, para los receptores ecológicos y humanos.

Se determinan “valores guía” o “directrices” para proteger la salud humana y a los receptores ecológicos clave que sustentan las actividades normales de las categorías de uso del suelo consideradas. Estas categorías de uso son cuatro: agrícola, residencial y parques, comercial e industrial. Además se consideran dos tipos genéricos de suelo, los de textura gruesa (arena y grava), definidos como suelos con un grano de tamaño medio de 75 micrometros o más, y los suelos de textura fina (limo y arcilla), definidos como suelos con un tamaño de grano medio menor al mencionado.

Las “directrices” deben entenderse como niveles de limpieza esperados en sitios contaminados, y no como niveles hasta los cuales se puede contaminar un sitio que no está afectado por contaminación.

Los valores derivados han sido publicados en el documento Directrices Canadienses de Calidad de Suelo para la Protección de la Salud del Medio Ambiente y los Humanos (Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health), en la que se proporcionan los valores de concentración de diversos parámetros para los distintos escenarios de uso.

En Canadá se ha adoptado un enfoque de tres niveles para la evaluación y remediación de sitios contaminados. El primer nivel es la adopción directa de las directrices de calidad de suelo, el segundo nivel permite la modificación limitada de las directrices de calidad, mediante el establecimiento de objetivos específicos para sitios que presentan condiciones particulares (por ejemplo, altas concentraciones background naturales, mezclas complejas de contaminantes, o escenarios inusuales de exposición). Por último, el tercer nivel utiliza procedimientos de evaluación de riesgo para establecer objetivos de remediación sitio-específicos, calculados en base al documento Guidance Manual for Developing Site-specific Soil Quality Remediation Objectives for Contaminated Sites in Canadá (CCME, 1996).

C. Alemania

En Alemania, la Ley de Protección de Suelos y Saneamiento de Sitios Contaminados del año 1998 tiene por objetivo asegurar o restablecer de manera sustentable las funciones y propiedades de suelos. En base a esta Ley, el año 1999 se dictó el Reglamento Federal de Sitios Contaminados y Protección de Suelos.

En la Ley y su reglamento se distinguen los siguientes tipos de valores umbral:

- Valor de mayor investigación (Prüfwert): En el caso de sobrepasar este valor, se deberá investigar en concreto y determinar caso a caso si se trata de una contaminación del suelo y si esta contaminación constituye un sitio contaminado.

- Valor de prevención (Vorsorgewert): En el caso de sobrepasar este valor, se asume una eventual contaminación del suelo (sitio con presencia de contaminantes).
- Valor de saneamiento (Maßnahmenwert): Al sobrepasar este valor, se asume la existencia de una contaminación del suelo y un sitio contaminado, que requiere algún tipo de saneamiento.

En el reglamento se distinguen diferentes vías de exposición y se indican valores umbral para “mayor investigación” y “saneamiento”. Las vías de exposición consideradas son:

- Suelo-Hombre (contacto directo)
- Suelo-Cultivo
- Suelo-Aguas Subterráneas: El lugar de evaluación (no necesariamente de muestreo) corresponde a la interfase de suelo saturado con suelo parcialmente saturado.

Para la determinación de los respectivos valores umbral se distinguen los siguientes usos:

- Uso I – Parques infantiles: Áreas donde permanecen menores de edad y que habitualmente son utilizadas para juegos.
- Uso II – Suelo residencial: Áreas con destino habitacional, incluyendo jardines.
- Uso III – Áreas verdes, parques y zonas de esparcimiento: Áreas de uso socio-sanitario y deportivo.
- Uso IV – Suelo industrial y comercial: Áreas no selladas de uso comercial e industrial de uso exclusivo durante jornadas laborales.

D. Confederación Suiza

El Reglamento suizo sobre contaminación de suelos fue dictado el año 1998 en base a la Ley de Medio Ambiente de 1983. Este reglamento tiene entre otras finalidades el propósito de regular la vigilancia sobre la contaminación física, química y biológica de suelos y regula los requerimientos a suelos contaminados con sustancias inorgánicas (Cr, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Hg, Pb y F) y orgánicas (D&F, PAH y PCB), dependiendo del uso del suelo. Específicamente establece valores umbral para ciertos contaminantes asociados, indicando la necesidad de tomar medidas preventivas o de remediación y/o limitar los usos de los suelos afectados.



Se definen tres valores umbral:

- Valor de referencia (Richtwert): En el caso de sobrepasar este valor, se deberá investigar el origen de la contaminación. En este sentido el valor de orientación correspondería al valor natural antrópico.
- Valor de mayor investigación (Prüfwert): En el caso de sobrepasar este valor, se deberá investigar en concreto si la contaminación pone el peligro la salud humana, la flora o la fauna.
- Valor de saneamiento (Sanierungswert): Al sobrepasar este valor, se prohíbe el uso de la zona afectada y se deberán determinar los requerimientos de saneamiento.

E. Reino de los Países Bajos (Lista Holandesa)

En materia de calidad de suelo, la norma de referencia holandesa, denominada "Valores Blanco y de Intervención para la Remediación del Suelo" (Target Values and Intervention Values for Soil Remediation, VROM), editada en 1994 por la Entidad Gubernamental de Medio Ambiente de los Países Bajos, es una de las más utilizadas.

Este instrumento permite estimar el riesgo específico de sitios contaminados. En particular, los valores blanco (target Value, TV) y los valores de intervención (intervention values, IV) se han establecido para cerca de 100 especies químicas y se encuentran relacionadas con el porcentaje la materia orgánica y arcilla de cada suelo en particular.

De este modo, si el parámetro evaluado se encuentra por debajo del valor blanco, el suelo es considerado limpio o multifuncional y no se aplica ningún tipo de restricción en él. En caso de que la concentración del parámetro sea mayor que el valor blanco y menor al valor de intervención se está en presencia de un suelo ligeramente contaminado al cual se pueden aplicar restricciones de carácter menor sobre su uso. Si la concentración media del contaminante en un volumen mínimo del suelo de 25 m³ excede el valor de intervención, la contaminación se clasifica como seria e implica que se deberá realizar algún tipo de remediación, no obstante su urgencia debe ser determinada para cada caso particular.

Cabe destacar que los valores señalados se consideran de orientación, la decisión final sobre un saneamiento, si es que se requiere, siempre depende de una evaluación de riesgos y de las condiciones ambientales del lugar.

F. Bélgica

Específicamente en la región de Flandes¹³ los valores de referencia están dados por el decreto de remediación de suelos que rige desde 1995. En este se establecen dos tipos de valores de referencia:

- Valores Background: reflejan los valores normales encontrados en suelos no contaminados. Para metales y metaloides corresponden al percentil 90 de las concentraciones medidas en los suelos superficiales. Para muchos contaminantes orgánicos el nivel del background equivale al límite de detección de las técnicas analíticas, a excepción de los suelos que muestran un enriquecimiento difuso.
- Estándares de Limpieza del Suelo: reflejan un cierto nivel de contaminación, en caso de que estos sean excedidos, implica que los contaminantes podrían causar efectos dañinos para la salud humana o el ambiente. En caso de superación se realiza una evaluación del sitio gradual.

En el caso de la contaminación histórica, los "Estándares de Limpieza del Suelo" son considerados en la decisión de si es o no una amenaza grave. De todas formas, la remediación para la contaminación histórica del suelo se basa en una evaluación de riesgo sitio-específico.

Se definen cinco usos de suelo y estas clases de usos de suelo son caracterizadas por los escenarios predefinidos de exposición. Los usos de clases de suelo son:

- Naturaleza
- Agricultura
- Residencia
- Recreación
- Industrias

13 Bélgica es un estado federal constituido por las regiones de Flandes, Valonia y Bruselas-Capital. Tanto Flandes como Bruselas-Capital comparten los mismos valores de investigación para los metales estudiados.

G. España

Los instrumentos jurídicos con los que cuenta España respecto a suelos contaminados, son la Ley de Residuos 10/1998, y el Real Decreto 9/2005 y su respectivo reglamento.

La Ley de Residuos, en sus artículos 27 y 28, regula los aspectos ambientales de los suelos contaminados, y dispone que el Gobierno, previa consulta a las comunidades autónomas, determinará los criterios y estándares que permitan evaluar los riesgos que pueden afectar a la salud humana y al medio ambiente atendiendo a la naturaleza y a los usos de los suelos. De esta forma, en 2005 se publica el Real Decreto 9/2005.

El Real Decreto ofrece un marco regulador para establecer la relación de actividades potencialmente contaminantes y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados. Contiene los Niveles Genéricos de Referencia, parámetro básico que se utiliza para la evaluación de la contaminación del suelo por determinadas sustancias, las cuales están agrupadas en razón de su peligrosidad para la salud humana por un lado y para los ecosistemas por otro. Estos han sido derivados para 60 agentes contaminantes prioritarios, todos de naturaleza orgánica.

El Nivel genérico de referencia (NGR) es definido como "la concentración de una sustancia contaminante en el suelo que no conlleva un riesgo superior al máximo aceptable para la salud humana o los ecosistemas y calculada de acuerdo con los criterios recogidos en el documento".

En el Real Decreto se especifican, además, los criterios para calcular los niveles de referencia de aquellas sustancias no incluidas en el documento y para la valoración de la contaminación por metales.

Los niveles genéricos de referencia para protección de la salud humana se establecen en función del uso del suelo, aquellos que se consideran son:

- Industrial
- Urbano
- Otros Usos

Los NGR permiten clasificar a un suelo en estudio como no contaminado cuando la concentración de cada uno de los contaminantes presentes sea inferior al NGR correspondiente. En caso contrario, cuando la concentración de una sustancia en el suelo supera el NGR correspondiente no es suficiente evidencia para afirmar que existe un problema de contaminación. En este caso el suelo deberá ser objeto de una valoración detallada de riesgos para el objeto de protección considerado.

En el caso de la Comunidad Autónoma del País Vasco, esta cuenta con una Ley de Suelos Contaminados (Ley 1/2005) para la prevención y corrección de la contaminación del suelo en dicha Comunidad Autónoma. En esta Ley se definen los "Valores Indicativos de Evaluación", entre los que se encuentran:

- Valor indicativo de evaluación A (VIE-A): Estándar que se corresponde con el límite superior del intervalo de concentraciones en que una determinada sustancia se encuentra de forma natural en los suelos de la Comunidad Autónoma del País Vasco.
- Valor indicativo de evaluación B (VIE-B). Estándar que indica la concentración de una sustancia en el suelo por encima de la cual el suelo está alterado y existe la posibilidad de que esté contaminado, extremo para cuya confirmación se requerirá la realización de un análisis de riesgos. VIE-B ha sido determinado para más de 70 sustancias de interés y para los usos del suelo industrial, parque público, urbano, área de juego infantil, y otros usos.
- Valor indicativo de evaluación C (VIE-C). Estándar que indica la concentración de una sustancia en el suelo por encima de la cual el suelo puede declararse contaminado sin necesidad de realizar un análisis de riesgos. VIE-C se define exclusivamente para la protección de los ecosistemas.

En la mencionada Ley se establecen, además de los valores indicativos de evaluación, el listado de actividades e instalaciones potencialmente contaminantes del suelo, y el contenido mínimo que deberán tener los análisis de riesgos que se realicen.

H. República Federal de Brasil

En 2009, el Consejo Nacional de Medio Ambiente de Brasil emite la Resolución Nº420 que dispone sobre criterios y valores orientadores de calidad de suelo con presencia de sustancias químicas, y establece directrices para la gestión ambiental de áreas contaminadas por estas sustancias como resultado de actividades antrópicas.

De acuerdo a esta resolución, ante la existencia comprobada de concentraciones de sustancias químicas que pueden causar riesgos para la salud humana, las autoridades competentes podrán desenvolver acciones específicas para proteger la población expuesta (Art. 1). La resolución abarca suelos como subsuelos, la fase líquida y gaseosa de estos (Art. 4). Respecto el nivel de riesgo para la salud humana tolerable, se establece para sustancias cancerígenas una probabilidad de ocurrencia de un caso adicional de cáncer en una población expuesta de 100.000 individuos (Art. 6). De acuerdo lo señalado en el Art. 8, durante los próximos cuatro años, a nivel de estados y a nivel

federal, se establecerán valores de referencia de calidad, de prevención y de investigación.

En el caso del Estado de Sao Paulo, la Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental de Sao Paulo, mediante su Directriz N° 195 de noviembre de 2005 estableció las Disposiciones sobre la aprobación de valores orientadores para suelos y aguas subterráneas en el Estado. Las principales definiciones son:

- Valor de Referencia de Calidad - (VRQ): es la concentración de una determinada sustancia en suelo (o agua subterránea) que define a un suelo como limpio o de calidad natural a partir de una información estadística de análisis realizados en el estado de Sao Pablo. Debe ser utilizado como referencia para acciones de prevención de la contaminación.
- Valor de Prevención - (VP): es la concentración de una determinada sustancia por encima de la cual pueden ocurrir alteraciones perjudiciales a la calidad del suelo y del agua subterránea. Este valor indica la calidad de un suelo de ser capaz de sustentar sus funciones primarias protegiendo tanto sus funciones primarias como receptor ecológico y la calidad de las aguas subterráneas. Este valor de prevención (VP) debe ser considerado para autorizar la introducción de sustancias en el suelo.
- Valor de Intervención - (VI): es la concentración de una sustancia en suelo y agua subterránea por encima de la cual existen riesgos potenciales directos e indirectos a la salud humana considerando un escenario de exposición genérico.

I. Estados Unidos Mexicanos (México)

En 2004 se publica la Norma Oficial Mexicana NOM-147-semarnat/ssa1-2004 (actualizada en 2007), que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio. En la normativa se presenta la Concentración de Referencia Total (CRT) y la Concentración de Referencia Soluble (CRS) para los elementos que se indican, las cuales se define como:

- Concentración de Referencia Total (CRT): es la masa del elemento químico regulado, expresada en mg/kg de suelo, expresada en base seca, por encima de la cual se considera que existe riesgo de que se generen efectos adversos para la salud.
- Concentración de referencia soluble (CRS): masa del elemento químico regulado, expresada en mg, por unidad de

volumen de la solución extractante, expresada en L, que sumada a la concentración de fondo de la misma fracción, representa el valor máximo por encima de la cual existe riesgo para el medio ambiente.

Para el caso de las CRT, se establecen dos valores de acuerdo al uso del sitio, estos son:

- Uso agrícola/residencial/comercial
- Uso industrial

La normativa establece diferentes alternativas para determinar la concentración objetivo a la cual se debe remediar un suelo. En virtud del tipo y dimensiones de las áreas afectadas, y con la finalidad de atender situaciones específicas, la norma se estructuró considerando dos escenarios: a) Extensión afectada menor o igual a 1.000 m², b) Extensión afectada mayor a 1.000 m². El primer escenario se aplica generalmente para accidentes o emergencias, en estos caso se deben aplicar criterios generales de remediación que no impliquen retraso en los tiempos de respuesta, razón por la cual se emplea a la CRT como la concentración objetivo de remediación. En el segundo escenario, que se aplica generalmente a eventos contaminantes que se presentan de manera deliberada o fortuita, continua o súbita, es necesario conocer cómo se presentó el derrame, descarga, filtración, depósito o transferencia del contaminante al suelo y de éste a algún receptor. Para ello se deben efectuar estudios detallados en periodos mayores. Una vez determinada la existencia de contaminación, en este caso el responsable puede seleccionar entre cuatro opciones para establecer la concentración objetivo de remediación:

1. Remediar hasta las CRT
2. Remediar hasta las concentraciones de fondo
3. Remediar hasta concentraciones específicas totales.

Aplicable cuando existe población humana potencialmente expuesta a algún(os) contaminante(s). Para su obtención se debe determinar el riesgo a la salud y al ambiente.

4. Remediar hasta las CRS más la fracción soluble de la muestra de fondo. Aplicable cuando no existe población humana potencialmente expuesta.

Adicionalmente, en 2003 en México se publica la Norma oficial mexicana nom-138-semarnat/ss-2003, que establece los límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación. Esta normativa establece los límites máximos permisibles de contaminación en suelos para fracciones de hidrocarburos (ligera, media, pesada) e hidrocarburos específicos, para uso agrícola,

residencial e industrial. Adicionalmente establece los hidrocarburos que deberán analizarse en función del producto contaminante y el número de puntos de muestreo de acuerdo al área, entre otras consideraciones.

III. Guía de Evaluación para Medios Ambientales, EMEG

Los EMEG han sido propuestos por la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades de EEUU, ATSDR. Su función es servir como referencia para definir los contaminantes críticos del SPPC. El uso de la EMEG se fundamenta en el hecho de que para su cálculo se toma en cuenta la dosis con la cual el contaminante no causa daño alguno (MRL de la ATSDR o RfD de la EPA - Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos). Así, la EMEG se convierte en una guía ambiental de máxima seguridad. Por lo tanto, un contaminante cuya concentración en el ambiente supere a la EMEG en cualquiera de los medios, deberá ser sujeto de un análisis toxicológico. Un contaminante que no supere a la EMEG en alguno de los medios analizados, podría ser descartado.

El cálculo de la EMEG se obtiene para cada matriz ambiental, y se calcula multiplicando la dosis de riesgo mínimo de la ATSDR

(MRL) o la dosis de referencia de la EPA (RfD) por el peso corporal (PC) y dividiendo el producto entre la tasa de ingestión diaria de agua, suelo o polvo (TI).

$$EMEG = \frac{MRL \text{ o } RfD \text{ (mg/kg/día)} \times PC \text{ (kg)}}{TI \text{ (kg o L/día)}}$$

Donde:

MRL o TI puede obtenerse de la bibliografía publicada por ATSDR

RfD de cada sustancia se puede obtener del banco de datos IRIS del sistema TOXNET.

IV. Evaluación Preliminar en Base a Valores de Referencia

De acuerdo a lo antes señalado, las muestras extraídas en los componentes ambientales que formaron parte del estudio son comparadas con valores de referencia nacionales e internacionales obtenidos según lo descrito previamente. El rol general de los valores de referencia en la evaluación de SPPC se ilustra en la Figura siguiente:

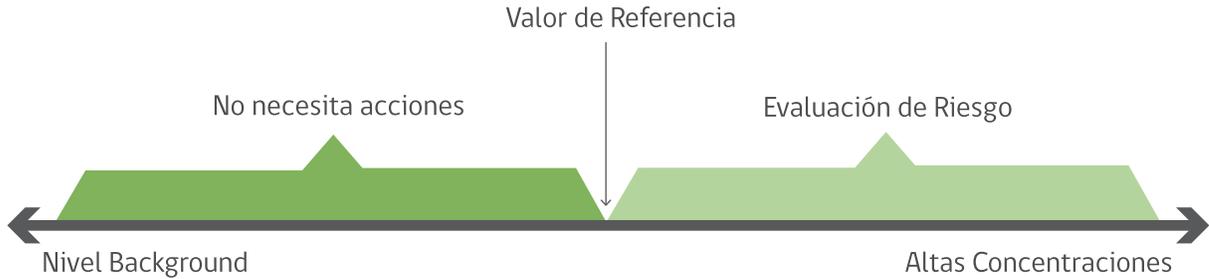


FIGURA 12 Esquema sobre significado y uso de valores de referencia
Fuente: Elaboración propia



A. Suelo bajo los Valores de Referencia

En el caso de que en todas las muestras de suelo, sedimento, aire y agua, los analitos de interés, o el valor representativo de la sustancia en cada medio ambiental (por ejemplo percentil 95 del promedio), estén bajo los valores de referencia, se puede asegurar que el SPPC no presenta un riesgo potencial para el escenario de uso evaluado. Es importante dejar registro de esta información, que será de utilidad en el caso de que exista un cambio de uso en el futuro (por ejemplo cambio de uso de industrial a residencial). En este caso se deberá realizar una actualización de la Investigación Confirmatoria y una nueva comparación con los valores de referencia, esta vez para el nuevo uso.

B. Suelo sobre Valores de Referencia

Ocurre si al menos en un punto de muestreo, al menos un contaminante de interés supera el valor de referencia. Otro criterio comúnmente utilizado es calcular una concentración representativa de la sustancia en cada medio ambiental (por ejemplo percentil 95 del promedio de las concentraciones) y verificar si se superan los valores de referencia respectivos. Este criterio permite menos errores en la interpretación de los datos ya que representa de mejor manera la situación del suelo analizado, pero se requiere de un número de muestras mayor.

Es importante mencionar que el hecho de que un SPPC posea algunas muestras de suelo, sedimento, aire y/o agua sobre un valor de referencia, no es suficiente evidencia para declararlo con presencia de contaminantes y se deberá realizar la evaluación de riesgos para poder realizar esta afirmación y/o descartar su potencial contaminación.

En la Figura 13 se presenta el esquema de toma de decisiones en base a valores de referencia:

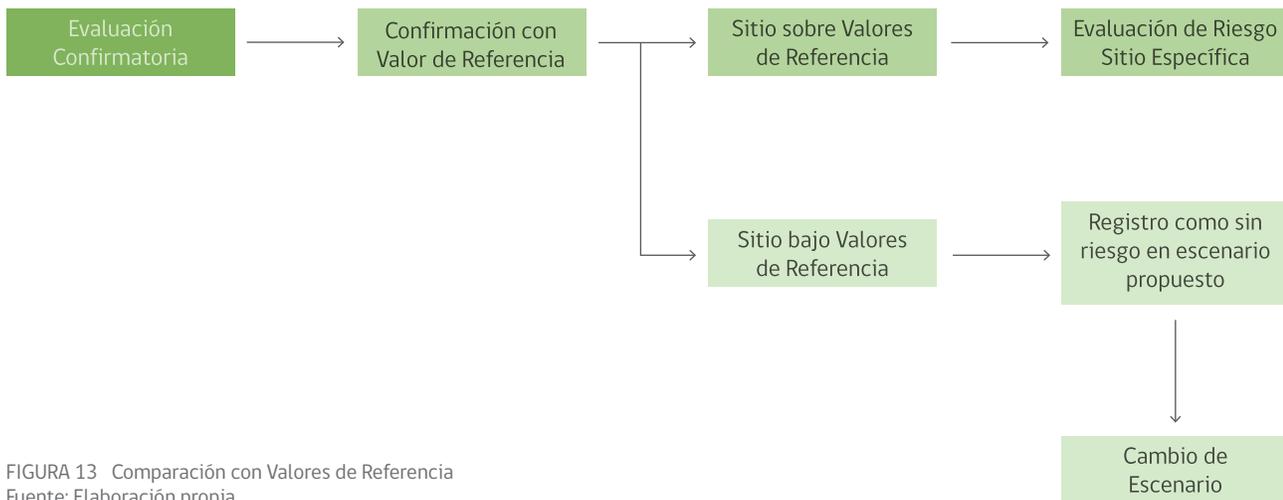


FIGURA 13 Comparación con Valores de Referencia
Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, la comparación de la concentración de los contaminantes analizados en el SPPC bajo Investigación Confirmatoria con los valores de referencia permite seleccionar los contaminantes de interés potencial, para la investigación detallada y los estudios posteriores de exposición y toxicidad que se podrán acotar a los contaminantes de interés potencial.



5.2.2.4 Informe con Conclusiones de la Investigación Confirmatoria

Finalmente, como resultado en esta etapa, se definirá si un suelo se descarta como con SPPC o se continúa con el siguiente nivel de estudio, a través de una Evaluación de Riesgo Ambiental.

El informe deberá resumir la justificación y desarrollo de las diferentes etapas del estudio, indicando los criterios utilizados para el diseño de los programas de muestreo y análisis llevados a cabo, así como la selección de los valores de referencia.



6.FASE III

Evaluación del Riesgo y Plan de Acción
para la Gestión de Suelos con
Presencia de Contaminantes



6. Fase III: Evaluación del Riesgo y Plan de Acción para la Gestión de Suelos con Presencia de Contaminantes

6.1 Esquema de Trabajo o Procedimiento de Trabajo Fase III

En la Figura 14 se presenta un diagrama de flujo con las etapas que deben efectuarse para desarrollar la Evaluación del Riesgo de un Suelo con Potencial Presencia de Contaminantes y el Plan de Acción para la gestión de Suelos con Presencia de Contaminantes.

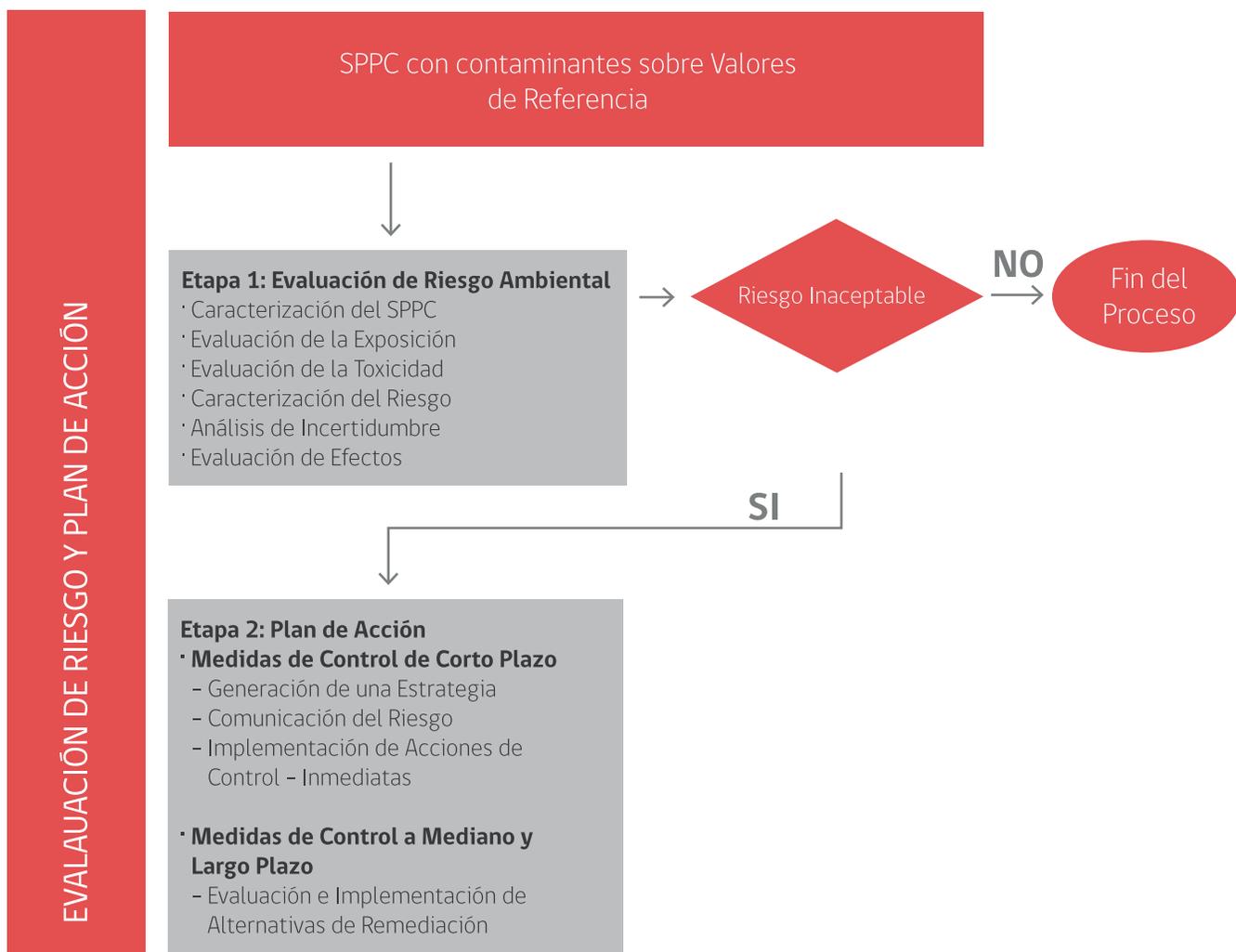


FIGURA 14 Diagrama de Procedimiento para la Evaluación del Riesgo y Plan de Acción de SPPC

6.2 Metodología de Trabajo Fase III

Para implementar la Fase III, la metodología considera el desarrollo de dos actividades principales, las cuales se presentan en la Figura 15. La primera consiste en el análisis detallado del SPPC con el fin de evaluar su riesgo, y la segunda consiste en el desarrollo y ejecución de un Plan de Acción para la gestión del riesgo, en caso de que el nivel de riesgo determinado sea relevante.

NIVEL	ACTIVIDADES	PRINCIPALES RESULTADOS
SITIO ESPECÍFICO: Evaluación del Riesgo y su Gestión	Evaluación de Riesgo Ambiental	Indices de Riesgo
	Plan de Acción	Gestión del Riesgo

FIGURA 15 Actividades para la Evaluación Preliminar Sitio-específica del Riesgo de SPPC

6.2.1 Evaluación de Riesgo a la Salud Humana

La Evaluación de Riesgo Ambiental tiene por objetivo establecer el riesgo que la contaminación potencial presente en un lugar determinado supone para los sujetos de protección, los que pueden ser poblaciones humanas, ecosistemas u otros recursos, de acuerdo a los objetivos y características específicas del caso.

En general, la Evaluación de Riesgos de un SPPC debe contemplar no sólo la situación actual del mismo, sino también cualquier situación futura previsible que pueda diferir de la actual. Esto último ya sea debido a la distribución y tipología de los contaminantes y/o por los cambios en las condiciones de la exposición de algunos receptores potenciales, como consecuencia de cambios de los usos del suelo o de otros recursos relevantes. Aunque la consideración de escenarios futuros suele ser más difícil de abordar, por llevar implícito un ejercicio de predicción y las consiguientes incertidumbres, su incorporación sistemática al análisis y gestión de riesgos resulta en muchos casos necesaria.

El alcance de la Evaluación de Riesgo se debe definir en cada caso. En primera instancia, la presente metodología considera solo el análisis de los riesgos para la salud humana. Dichos riesgos hacen referencia a todos aquellos efectos adversos que pueden manifestarse en un grupo de población humana expuesta a los contaminantes presentes en el suelo o en otros medios a los que hayan podido migrar desde una fuente de contaminación.

Para efectuar una Evaluación de Riesgos a la Salud Humana es necesario ejecutar las siguientes etapas:

6.2.1.1 Caracterización del SPPC

La caracterización del SPPC se inicia con la recopilación de los antecedentes ya existentes, con la finalidad de minimizar los esfuerzos de terreno y orientar mejor el proceso investigativo y de remediación (en caso que se efectúe). El desarrollo de esta etapa tiene directa relación con las actividades futuras, ya que en función de la información recopilada se inferirán las sustancias y/o elementos presentes en el sitio que serán posteriormente evaluadas y se fundamentará la hipótesis sobre la distribución de estas sustancias y/o elementos en el ambiente.

Las principales actividades y datos que se requieren en esta etapa son:

- Delimitación del área de estudio
- Inspección del sitio
- Descripción del sitio: características físicas como geología, topografía, hidrogeología y meteorología, entre otros.
- Caracterización de los receptores antrópicos.
- Desarrollo del plan de muestreo detallado

Varias de las actividades y datos que se requieren han sido ya recabados en las fases previas de investigación, razón por la cual la mayor parte de los esfuerzos de esta etapa están orientados a recopilar y organizar la información existente.

El desarrollo del plan de muestreo detallado es probablemente la actividad más compleja y en la que se requerirán los mayores recursos humanos y económicos, razón por la cual es presentada con mayor detalle.

I. Desarrollo del Plan de Muestreo Detallado

En términos generales, varias de las premisas y requerimientos antes detallados para la realización del muestreo de tipo exploratorio o screening en el contexto de la Investigación Confirmatoria, son también válidos para la realización del Plan de Muestreo Detallado. La diferencia radica en que esta vez se requiere determinar las concentraciones representativas de los contaminantes relevantes presentes en los componentes ambientales en los puntos de exposición, por lo cual hay que considerar un número mayor de muestras (justificado en criterios estadísticos), y, eventualmente, técnicas analíticas más sensibles, análisis de una cantidad de sustancias más acotada (dependiendo de los antecedentes del muestreo previo), entre otros aspectos.

En cada matriz ambiental muestreada, para fines de evaluación de riesgo ambiental, se deben determinar procedimientos de toma de muestras y métodos de análisis consistentes con la normativa nacional e internacional, según corresponda. Antecedentes de este tipo pueden ser revisados en el capítulo 5.2.2.2 de este documento.

Uno de los aspectos más relevantes en el desarrollo de un Plan de Muestreo Detallado es la determinación de la cantidad de muestras, de forma que las concentraciones que se determinen para cada medio ambiental objeto del estudio sean representativas. Este tema es tratado con mayor detalle a continuación.



A. Determinación de la Cantidad de Muestras

En el contexto de un Plan de Muestreo Detallado, la determinación del número mínimo de puntos de muestreo se realiza en función de la distribución de la contaminación, es decir, dependiendo de si se trata de una distribución homogénea de la contaminación, o distribución heterogénea con una fuente de contaminación conocida.

En el primer caso se emplea un criterio estadístico, haciendo uso de los resultados analíticos obtenidos a partir del muestreo exploratorio o screening efectuado en la Investigación Confirmatoria, mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$n = \frac{t^2}{E^2} * \left(\frac{S}{\varepsilon} \right)^2$$

Siendo:

n: Número de puntos de muestreo

t: t de Student (test de dos colas), para n grados de libertad (o número de muestras menos uno) y un nivel de confianza del 95% y E= 0,2, para un intervalo de confianza de 20 %.

E: intervalo de confianza asociada a la media muestral

s: desviación típica muestral

ε : valor medio muestral

El cálculo indicado en la formula anterior debe realizarse para cada contaminante objeto de investigación, debiendo elegirse de entre todos los valores de n así obtenidos, aquel que resulte más elevado. Si los requerimientos de muestreo así calculados son inviables, la determinación de la concentración media de los contaminantes se realizara siguiendo un procedimiento alternativo que considera un punto de muestreo por cada 1.000 m², con la obtención de una muestra cada 0,5 metros o una muestra por cada estrato de suelo, en aquellos casos en que sea posible distinguir algún tipo de estratificación, para alcanzar como mínimo una profundidad de un metro por debajo del estrato contaminado o alterado más profundo detectado en la etapa de investigación previa. En todo caso, no se tomarán más de 20 muestras por hectárea y por estrato, sea cual fuere el resultado de aplicar la fórmula para el cálculo del número de muestras a tomar para cumplir el requerimiento de un intervalo de confianza no superior al 20% de la concentración media.

En el caso de una distribución heterogénea con fuente de contaminación conocida, se debe caracterizar de forma exhaustiva la naturaleza, concentración y extensión de la contaminación o alteración, tanto en el plano vertical como en el horizontal, para lo cual será necesario obtener un número de muestras que permita delimitar el contorno de aquellas zonas en las que la concentración de las sustancias contaminantes objeto de la investigación superen determinados valores de acción. Para ello se muestreará desde los puntos en que ha sido detectada contaminación o alteración del suelo en la Investigación Confirmatoria, hacia afuera, de forma concéntrica y en etapas sucesivas, utilizando una malla cuadrada de 5 x 5 m en el plano horizontal, tomándose una muestra, o más en el caso de que exista una clara estratificación, por cada metro de la columna de sondeo. Si la extensión de la contaminación supera los 750 m², la amplitud de la malla de muestreo podrá ser menor en aquellas zonas en que la contaminación o alteración es más grave.

Podrá procederse a la finalización de la investigación solamente cuando en todas las direcciones de la red de muestreo, la concentración de sustancias contaminantes en dos muestras sucesivas no supera el valor de acción adoptado, así como cuando en el plano vertical, en las dos muestras más profundas no se detecte contaminación por encima del referido nivel.

De acuerdo a lo señalado en el documento preparado por Conama/Arcadis en 2006 los requerimientos del muestreo deben determinarse caso por caso, para lo cual se presentan ecuaciones de US EPA que permiten calcular el tamaño de la muestra. Estas ecuaciones se basan en un criterio netamente estadístico (errores alfa, beta y variabilidad esperada o real de las concentraciones esperadas o determinadas), sin involucrar aspectos como el tamaño del lote de muestreo.

En el documento preparado por Rihm/Anaconda en 2004 se reproducen ecuaciones de US EPA para la determinación del número de muestras necesarias, en base a un coeficiente de variación dado y objetivos de calidad (errores alfa y beta). También se indican fórmulas para la detección de "hot-spots".

En el primer caso se emplea criterio estadístico, determinándose el número mínimo de muestras mediante la aplicación de la siguiente fórmula (test de una cola):

14 Ministerio de Medio Ambiente, Ingeniería Alemana S.A. (2010). Catastro de Sitios con Presencia de Dioxinas y Furanos Asociados al Uso de Pentaclorofenol en Aserraderos Fase II. Metodología de Investigación Confirmatoria y Estimación Preliminar de Riesgos Ambientales. pp. 84-85

En el primer caso se emplea criterio estadístico, determinándose el número mínimo de muestras mediante la aplicación de la siguiente fórmula (test de una cola):

$$n = \frac{(Z_1 - \alpha + Z_1 - \beta) s^2}{E^2} * \left(\frac{Z_1 - \alpha}{2}\right)^2$$

Siendo:

n: Número de puntos de muestreo

z: Percentiles de la distribución estándar. Valores tabulados se encuentran en US EPA (1992) o Rihm/Anacona (2004)

E: intervalo de asociada a la media muestral

s: desviación típica muestral

De esta manera con los resultados de las concentraciones obtenidos del Screening, se puede emplear una de las fórmulas indicadas anteriormente y así determinar estadísticamente el número de muestras necesarias para un deseado grado de confianza.

6.2.1.2 Evaluación de la Exposición

Esta etapa consiste básicamente en evaluar la magnitud (actual o potencial), frecuencia y duración de la exposición a los contaminantes de interés considerando las vías principales a las que la población está o puede estar expuesta. 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 potencialmente contaminada y por la ruta de exposición correspondiente.

Las actividades principales del estudio de evaluación de la exposición son las siguientes:

- Identificación de vías de exposición
- Receptores y escenarios de exposición
- Desarrollo de un modelo conceptual detallado
- Determinación de algoritmos para el cálculo de dosis de exposición
- Selección de factores de exposición y fuentes de información

Los aspectos a considerar cuando se desarrollan cada una de estas actividades se presentan a continuación:

I. Identificación de Vías de Exposición

Es importante determinar si cada vía de exposición ha ocurrido en el pasado, está ocurriendo en el presente o se espera ocurrirá 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 tres tipos de vías de exposición: completa, potencial o incompleta.

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

- Todos los elementos de una vía de exposición existen, han existido o van a existir (en un tiempo cercano)
- Todos los elementos de la vía de exposición están conectados
- Los contaminantes están presentes en el medio ambiental de contacto
- Los contaminantes están presentes en el punto de exposición

Todas las vías de exposición completas deben ser incluidas en una estimación de riesgo.

Una vía de exposición potencial existe y el receptor puede ser considerado como expuesto en el pasado o en el futuro, si existe evidencia de que:

- Uno o más elementos de la vía de exposición no están presentes, pero éstos pueden estar ocurriendo, han ocurrido en el pasado pero no han sido identificados o puede que existan en un futuro cercano
- La contaminación existe en el presente en un medio ambiental y en una localidad que es probable que llegue a convertirse en un punto de exposición dentro de un tiempo de migración discreto.

Se recomienda que las vías de exposición potenciales sean analizadas separadamente y la contribución relativa a la exposición total sea estimada.

15 Comisión Nacional del Medio Ambiente - Conama/Arcadis (2006). Manual Técnico para la Investigación Ambiental de Sitio.

16 Rihm, A./Anacona, C. (2004). Riesgos Ambientales Asociados a Sitios Contaminados. Informe Final Proyecto FDI (INTEC - SAG). p 260.



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

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

Vías de exposición incompletas no deben ser consideradas en una evaluación de este tipo.

II. 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 bajo estudio.

Esta actividad considera la selección y descripción de los escenarios de exposición hipotéticos, de acuerdo a los antecedentes que se han recabado para el SPPC. En la descripción se deben señalar al menos a los receptores de preocupación que se prevén expuestos, a los medios y vías de exposición relacionados con la situación que se describe, junto con las razones por las que el escenario es considerado posible en el sistema en estudio.

III. Desarrollo de un Modelo Conceptual Detallado

Las premisas y requerimientos antes detallados para la elaboración del modelo conceptual en el contexto de la Investigación Preliminar son también válidos para la elaboración del modelo conceptual detallado (ver capítulo 5.2.1.5). 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 SPPC. 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 SPPC y su entorno. En este se esquematiza la situación en términos de los factores que inciden en la cadena de riesgos: fuente de contaminación, contaminantes de interés y su distribución en las matrices ambientales, mecanismos de movilización, rutas de exposición y potenciales receptores, antecedentes que han sido recabados en las etapas previas de investigación.



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.

IV. Determinación de Algoritmos para el 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 y 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.

C = Concentración representativa de la exposición.

TC = Tasa de contacto.

P = Peso corporal del receptor.

TE = Tiempo de exposición.

PE = Período de exposición.

A continuación se presentan las fórmulas que permite calcular la ingesta media diaria para vías de exposición específicas:

A. Ingestión de suelo

La ingestión de suelo está asociada a diversas actividades que generalmente tienen lugar en el ambiente exterior pero también puede ocurrir en ambientes interiores, siempre que sea efectivo asumir que se produce la movilización de partículas de suelo contaminado en forma de polvo y que éste alcanza un espacio interior ocupado por receptores.

La expresión siguiente permite calcular la ingesta media diaria asociada a la ingestión accidental (o voluntaria, en el caso de niños) de suelo o polvo con presencia de contaminantes:

$$I = 10^{-6} * \frac{C_s T I_s}{P} * \frac{TE}{PE}$$

Donde:

I = Ingesta media diaria de contaminante debido a ingestión de suelo o polvo con presencia de contaminantes (mg/kg·día)

C_s = Concentración del contaminante en el suelo (mg/kg)

T I_s = Tasa de ingestión de suelo o polvo contaminado (mg/día)

P = Peso corporal (kg)

TE = Tiempo de exposición (día)

PE = Período de exposición (día)

B. Ingestión de Alimentos

Dada la complejidad de los mecanismos de transferencia y acumulación en la cadena trófica, la cuantificación de la exposición a través de la ingestión de alimentos contaminados suele ser problemática, además de conllevar amplios márgenes de incertidumbre.

Los casos más habituales en los que esta ruta es considerada son los escenarios en los que es razonable asumir que un segmento de población consume alimentos (frescos o elaborados) cultivados en el suelo y/o regados con aguas con presencia de contaminantes. Otros supuestos (en principio menos frecuentes pero más complejos de analizar) son aquellos en que el alimento contaminado es de otra índole (carne, leche, huevos, pescado).

Cuando sea de relevancia la ruta asociada a la ingestión de alimentos potencialmente contaminados, la expresión siguiente permite estimar la ingesta de cada contaminante a través de cada alimento:

$$I_{al} = \frac{C_{al} * F_{al} * TI_{al}}{P} * \frac{T_E}{P_E}$$

Dónde:

I_{al} = Ingesta media diaria de contaminante debido a consumo de un alimento contaminado (mg/kg·día)

C_{al} = Concentración del contaminante en el alimento (mg/kg)

F_{al} = Fracción contaminada sobre el total de alimentos consumidos del mismo tipo (adimensional)

TI_{al} = Tasa de ingestión del alimento (kg/día)

P = Peso corporal (kg)

T_E = Tiempo de exposición (año)

P_E = Período de exposición (año)

C. Ingestión de Agua

La ingestión de agua con presencia de contaminantes puede ocurrir básicamente en tres circunstancias: por consumo de agua de bebida, por ingestión durante el baño/ducha y por ingestión durante el baño recreativo (aguas superficiales). En cada caso, los medios de contacto son diferentes, debiendo adaptarse los valores de la concentración, tasa de ingestión y tiempo de exposición para que sean coherentes con el medio y situación que se está valorando. Puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$I_W = \frac{C_W * TI_W}{P} * \frac{T_E}{P_E}$$

Donde:

I_W = Ingesta media diaria de contaminante debido a ingestión de agua con presencia de contaminantes (mg/kg·día)

C_W = Concentración del contaminante en el agua (mg/l)

TI_W = Tasa de ingestión de agua contaminada (l/día)

P = Peso corporal (kg)

T_E = Tiempo de exposición (día)

P_E = Período de exposición (día)

D. Inhalación de Partículas

La expresión siguiente permite calcular las ingestas asociadas a la inhalación de partículas de suelo o polvo con presencia de contaminantes.

$$I_P = 24 * 10^{-6} * \frac{C_{pa} * F_{10} * C_{10} * TI_a}{P} * \frac{T_E}{P_E}$$

Dónde:

I_P = Ingesta media diaria de contaminante debido a inhalación de partículas en el aire (mg/kg·día)

C_{pa} = Concentración de partículas en el aire (mg/m³N)

F_{10} = Fracción de partículas respirables (< 10 μm - adimensional)

C_{10} = Concentración del contaminante en las partículas respirables (mg/kg)

TI_a = Tasa de inhalación de aire (m³/h N)

P = Peso corporal (kg)

T_E = Tiempo de exposición (día)

P_E = Período de exposición (día)

E. Inhalación de Vapores o Gases

La inhalación de vapores puede tener lugar tanto en un ambiente exterior como interior. Las situaciones que dan lugar a este tipo de exposición pueden estar ligadas a la presencia de contaminantes volátiles en el suelo, en las aguas subterráneas y en las fases no disueltas que aparecen en las aguas subterráneas tras su saturación (fase libre). En un ambiente interior, hay que considerar además la exposición durante el baño/ducha, si las circunstancias del caso así lo ameritan.

Para calcular las ingestas por inhalación de contaminantes en fase de gaseosa se puede emplear la siguiente ecuación:

$$I_V = 24 * \frac{C_a * TI_a}{P} * \frac{T_E}{P_E}$$

Donde:

I_V = Ingesta media diaria de contaminante debido a inhalación de vapores o gases del aire (mg/kg·día)

C_a = Concentración del contaminante en el aire (mg/m³ N)

TI_a = Tasa de inhalación de aire (m³/h N)

P = Peso corporal (kg)

T_E = Tiempo de exposición (día)

P_E = Período de exposición (día)

F. Contacto Dérmico con Suelo

La exposición por contacto dérmico con suelo con presencia de contaminantes puede tener lugar tanto en ambientes exteriores como interiores. El segundo supuesto se considerará siempre que sea posible asumir que se produce la movilización de partículas de suelo con presencia de contaminantes en forma de polvo y que éste alcanza un espacio interior ocupado por receptores.

La dosis absorbida por contacto dérmico con suelo con presencia de contaminantes puede estimarse mediante la expresión siguiente:

$$I_{ds} = 10^{-6} * \frac{C_s * S_c * AD * ABS}{P} * \frac{T_E}{P_E}$$

Donde:

I_{ds} = Dosis absorbida media diaria debido a contacto dérmico con polvo o suelo con presencia de contaminantes (mg/kg·día)

C_s = Concentración del contaminante en el suelo (mg/kg)

S_c = Superficie corporal expuesta (cm²/día)

AD = Factor de adherencia suelo-piel (mg/cm²)

ABS = Factor de absorción dérmica (adimensional)

P = Peso corporal (kg)

T_E = Tiempo de exposición (día)

P_E = Período de exposición (día)

G. Contacto Dérmico con Agua

La exposición por contacto dérmico con agua con presencia de contaminantes puede tener lugar básicamente durante el baño/ducha o durante el baño recreativo (aguas superficiales). La siguiente fórmula permite calcular la dosis absorbida a través de la piel por contacto con agua con presencia de contaminantes en ambas situaciones.

$$I_{dw} = 2,4 * 10^{-2} * \frac{C_w * S_c * K_p}{P} * \frac{T_E}{P_E}$$

Donde:

I_{dw} = Dosis absorbida media diaria debido a contacto dérmico con agua contaminada (mg/kg·día)

C_w = Concentración del contaminante en el agua (mg/l)

S_c = Superficie corporal expuesta (cm²)

K_p = Constante de permeabilidad dérmica del contaminante (cm/hora)

P = Peso corporal (kg)

T_E = Tiempo de exposición (día)

P_E = Período de exposición (día)

V. 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 peso corpóreo, volumen de aire inspirado por hora o por día, agua ingerida por día, tasa diaria de alimento ingerido, superficie dérmica de cada parte del cuerpo, absorción dérmica por día. Existe amplia información respecto a los valores máximos, mínimos, mediana y diversas circunstancias que definen los factores de exposición.

Una fuente de información que se destaca es el Exposure Factors Handbook, cuya última versión fue publicada por U.S.EPA en 2011. En este documento aparece la información necesaria para conducir un análisis de exposición.

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. Típicamente la exposición se expresa en horas/día.

El valor numérico de los factores de exposición, los factores temporales y el peso corpóreo dependen 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 tanto la absorción neta de contaminante depende de la matriz y de la naturaleza del contaminante y por lo tanto es un valor específico.

A continuación se presentan algunos ejemplos de factores de exposición.



6.2.1.3 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 SPPC, 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 Superfund de US EPA 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 (las llamadas dosis de referencia RfDo y RfDi para vía oral e inhalación, respectivamente) separadamente de los cancerígenos (los llamados factores de pendiente FPCo y FPCi para vías oral e inhalación, respectivamente). A este último grupo se incluye el peso de evidencia cancerígena (A, B, B1, B2, C, D, E). La información anteriormente descrita se deriva de datos experimentales obtenidos con mamíferos (ratas, ratones, conejos, cuyos, perros o monos) para luego extrapolarlos a humanos.

La US EPA 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—<http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm?fuseaction=iris.showSubstanceList>), 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 que se van actualizando a medida que la información científica se revisa. Se tiene un archivo por cada sustancia y se agregan nuevos archivos a medida que la información va estando disponible. Sólo puede ser consultada en línea y puede accederse a ella desde la página electrónica de la US EPA.

La información determinante para esta etapa es la siguiente:

- Perfiles toxicológicos de cada contaminante con valores de referencia de toxicidad (DdR) o Factores de Pendiente Cancerígena y Unidades de Riesgo 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

6.2.1.4 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 contra los niveles de exposición en forma separada para sustancias o elementos cancerígenos y no cancerígenos.

Para los elementos no cancerígenos se calculan los Cocientes de Peligro dividiendo el valor de la Dosis Diaria Promedio Anual (DDPA) por cada ruta entre el valor de la dosis de referencia (DdR). 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.

Asimismo, para aquellas sustancias o elementos cancerígenos, 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. O sea 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 y multiplicada por el respectivo criterio de toxicidad. Para sustancias cancerígenas por la vía oral o dérmica se usa 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).

Respecto a la caracterización del riesgo cancerígeno y no cancerígeno, cabe hacer una distinción, ya que los índices utilizados para el cálculo de riesgo para cada grupo difieren entre sí.

Para el grupo de elementos no cancerígenos se calcula el índice de peligro (IP), el cual refleja la probabilidad aditiva de efectos crónicos no cancerígenos en la salud. Sin embargo, el IP es el resultado de la suma de CP, los que sólo indican cuán diferente es el numerador (las Dosis Diaria Promedio Anual,

DDPA) respecto del denominador (dosis de referencia, DRf). Así, un CP de 2 no significa que el riesgo de efecto crónico es 100% mayor respecto a la DRf, por ende no se considera como una probabilidad. Si un IP total excede la unidad, entonces las contribuciones parciales deben ser disgregadas en efectos tóxicos similares, lo cual constituye una diferencia radical con el riesgo cancerígeno.

Para contaminantes cancerígenos, los riesgos de cáncer 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) para el problema de contaminación en estudio. Respecto al criterio de aceptabilidad del riesgo cancerígeno, este 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).

Finalmente, considerando todos los resultados obtenidos en las etapas precedentes, se debe proceder a determinar si el riesgo evaluado es relevante o inaceptable o no, de acuerdo a los criterios de aceptabilidad considerados.

6.2.1.5 Análisis de Incertidumbre

Inevitablemente, existe una considerable incertidumbre inherente en el proceso de Evaluación de Riesgos. Estas comienzan 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
- Debida 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, cuales son las medidas adoptadas para minimizar la incertidumbre y cual es la influencia de las incertidumbres en la caracterización del riesgo.

Mayores antecedentes sobre las actividades y etapas que se han sido señaladas hasta ahora para desarrollar una Evaluación de Riesgo a la Salud Humana, se encuentran en la información de referencia que se presenta en el ANEXO 5.





6.2.1.6 Evaluación de los Efectos

El procedimiento para la Evaluación del Riesgo a la Salud explicado hasta ahora, se fundamenta en la obtención de datos ambientales para alimentar fórmulas matemáticas, las que permiten calcular una dosis aproximada de exposición, para luego determinar si ésta podría representar un riesgo. Este camino asume un comportamiento estandarizado para toda la población. Las incertidumbres en cuanto a toxicidad, biodisponibilidad y otros factores, se resuelven asumiendo máximo riesgo.

Otra forma complementaria de evaluar el riesgo a la salud humana es por medio de la evaluación de los efectos, es decir, determinando las consecuencias que una posible contaminación ha generado en la población y corroborar la existencia de una exposición efectiva. Esta forma de evaluar el riesgo es en general empleada por las agencias de salud pública de cada país, que en el caso chileno corresponde al Ministerio de Salud y sus respectivas reparticiones.

La evaluación de los efectos sobre la salud humana puede ser estudiada a través de un monitoreo biológico (biomarcadores de exposición) y a través de análisis de datos estadísticos de salud. A continuación se describen en forma general en qué consisten ambas formas de medir los efectos en salud.

I. Monitoreo biológico (biomarcadores de exposición)

La cuantificación de biomarcadores químicos permite certificar la absorción de los contaminantes en estudio en la población expuesta. Un biomarcador por lo general es el propio contaminante o alguno de sus metabolitos, capaz de ser cuantificado en tejidos (adiposo, pelo, placenta, otros) y/o fluidos biológicos (sangre, saliva, orina, otros). Los biomarcadores indican exposición y absorción, pero además algunos también pueden señalar efectos (por ejemplo, disminución de actividad colinesterásica en la sangre) o carga corporal del metal (por ejemplo, cadmio en el riñón, plomo en hueso).

Cuando se aplican este tipo de estudios, una actividad importante es la selección del biomarcador más adecuado a los objetivos del estudio, para esto debe efectuarse un análisis de la literatura existente. Deben considerarse factores propios del Individuo y del contaminante para definir cuál de los biomarcadores, tejidos o fluidos están más relacionados con la exposición. Además, se debe tomar en cuenta siempre los factores toxicocinéticos del biomarcador (ej. cadmio en la sangre es biomarcador de exposición reciente y cadmio en la orina es biomarcador de exposición crónica).

Para definir el biomarcador que debe ser analizado entre la población expuesta en un suelo con potencial presencia

de contaminantes, se debe anticipar que por lo general estos sitios se encuentran contaminados por una mezcla de sustancias químicas. Esto es, ante la imposibilidad técnica y económica de evaluar la exposición para todas las sustancias presentes en un sitio, se debe generar un sistema que permita la categorización de las sustancias contaminantes, de forma que se evalúe la exposición sólo para aquellas que representen mayor riesgo.

Cuatro parámetros que deben tenerse en cuenta, estos son:

- Que sea un contaminante crítico.
- Magnitud del riesgo cancerígeno. En el caso de que los contaminantes no sean cancerígenos, evaluar la relación: dosis total de exposición/dosis de referencia (o MRL)
- Número de personas afectadas por el contaminante.
- Preocupación social por el contaminante.

Con estos criterios, el evaluador podrá categorizar sus contaminantes críticos y tendrá fundamentos para seleccionar los de mayor riesgo. Una vez que los contaminantes críticos de mayor riesgo hayan sido seleccionados, se debe revisar la literatura científica para definir los biomarcadores más adecuados para su estudio. Para esto, es muy adecuada la serie de Perfiles Toxicológicos, de la ATSDR. Otra fuente relevante de datos es la información distribuida por la Organización Mundial de la Salud, en su serie Criterios de Salud Ambiental. Independientemente de la fuente, debe quedar claro que antes de iniciar los estudios, el evaluador deberá tener la seguridad de que el biomarcador a usar es el apropiado.

El análisis de biomarcadores en el laboratorio debe seguir la rigurosidad de calidad exigida a las muestras ambientales. Aún más, ante la alta probabilidad de no contar con matrices certificadas para muchos biomarcadores, se recomienda la certificación de la calidad del análisis a través de un control externo.

Es importante recordar que para los estudios de biomarcadores deben colectarse muestras humanas. Por lo tanto, se debe contar con la aprobación de un Comité de Bioética que revise los procedimientos a seguir durante la colecta. Asimismo, en todos los casos, se deberá solicitar por escrito el consentimiento del donador (cuando sea un adulto) o del padre o tutor del donador (cuando la colecta se realice entre la población infantil). En dicho consentimiento, quien autorice deberá tener conocimiento de los objetivos y alcances del estudio. Además, por ética, los estudios deberán ser voluntarios, anónimos y gratuitos, con el compromiso adicional de que tan pronto se obtengan los resultados en el laboratorio, los donadores conocerán los resultados de sus análisis y lo que significan para la salud del individuo.

Un punto que no puede escapar a la preparación de un estudio con biomarcadores es el tipo de población sujeta al estudio. ¿Cuántas muestras? ¿Cuáles son las condiciones de inclusión o exclusión que regulan la selección de individuos para un estudio? ¿Cuáles serán los criterios de representatividad? La respuesta a éstas y otras preguntas deberán basarse en un análisis estadístico previo que permita el diseño del estudio.

Con respecto al diseño, debido a que en general el tiempo es limitado, normalmente se opta por un diseño de corta duración. Entre los estudios descriptivos destaca el de prevalencia de exposición (proporción de personas expuestas que poseen un biomarcador alterado en relación al total de individuos estudiados). Sin embargo, puede optarse por métodos de estudio que involucren a una población control. De ser éste el caso, los métodos más populares serían los transversales (comparación de un grupo control con grupos expuestos a diferentes dosis del contaminante) y los de casos y controles (comparación del antecedente de exposición entre dos grupos; los criterios para definir un caso y un control dependerán del contaminante que se desee examinar y del efecto que se busque analizar).

En cuanto al tamaño de la población a estudiar, el número de individuos dependerá de dos factores: recursos económicos y tamaño total de la población afectada. Si ésta es pequeña y además se cuenta con buen apoyo económico, se podría dar el caso de poder estudiar a toda la población. Pero si la población es grande y los recursos limitados, habrá que seleccionar una muestra representativa. Para la selección ya existen métodos estadísticos computarizados que facilitan el cálculo del tamaño de la muestra. Dependiendo de las características del estudio, existen varias técnicas para asegurar que el muestreo sea representativo, entre ellas: la selección aleatoria simple, la sistemática, la estratificada, por conglomerados, entre otras.

En el informe final, los datos sobre biomarcadores se deben presentar como una prueba de la exposición a los contaminantes. Por consiguiente, se busca obtener una correlación entre los efectos (biomarcadores) y el nivel de contaminación en el sitio, para lo cual tomará en cuenta la antigüedad de la contaminación, el tiempo de residencia de los individuos en el sitio, su tiempo de exposición al sitio peligroso, frecuencia y duración de la exposición, hábitos alimenticios (en el caso de que la ruta de exposición incluya alimentos), entre otros. Toda esta información y otra adicional puede ser recolectada a través de un cuestionario diseñado de manera específica para la comunidad a estudiar (edad, sexo, ocupación, tipo de vivienda, antecedentes de exposición, otros).



Una de las fuentes más importante de información sobre riesgos a los seres humanos la constituyen los estudios epidemiológicos, los cuales se basan en la incidencia de enfermedades en poblaciones humanas para evaluar la relación estadística entre exposición y cambios en la salud. Existen diversas estrategias para obtener información epidemiológica, la más sencilla involucra la identificación de dos poblaciones con diferente exposición a un factor de riesgo relevante.

Los estudios difieren generalmente en términos del tipo de exposición (crónica o aguda), en el diseño del experimento (cohorte, transversal, estudios de casos y controles), y en el resultado de interés (impactos a la salud agudos y crónicos). Dos tipos de estudios que pueden ser utilizados para la evaluación de riesgos son los de cohorte y los de casos y controles. El primero identifica una población objetivo y sigue su exposición y estado de salud en el tiempo de manera prospectiva, mientras que un estudio de casos y controles identifica personas con y sin enfermedades y realiza búsquedas retrospectivas en sus expedientes u otras fuentes para obtener la historia de su exposición.

La información en estudios epidemiológicos se puede organizar en una matriz de 2 x 2 como sigue:

	Con Enfermedad	Sin Enfermedad
Expuesto	a	b
No Expuesto	c	d

Al observar poblaciones durante un período específico de tiempo, y monitoreando su exposición e incidencia de enfermedades, los epidemiólogos pueden registrar los riesgos y sus factores de riesgo. Dos expresiones utilizadas con frecuencia con fines informativos para describir estos riesgos son el riesgo relativo y el riesgo atribuible:

$$Riesgo\ Relativo = \frac{a/(a + b)}{c/(c + b)}$$

El riesgo relativo describe la proporción del riesgo de enfermedad en la población expuesta entre la proporción de la población no expuesta. Un valor de riesgo relativo mayor a 1 indica un riesgo superior en la población expuesta que en la no expuesta, y un riesgo relativo inferior a 1 significa que la población expuesta no presenta un riesgo mayor que la población no expuesta.

$$Riesgo\ Atribuible = \frac{a}{a + b} - \frac{c}{c + d}$$

El riesgo atribuible describe la diferencia entre la probabilidad de desarrollar la enfermedad con y sin exposición. Un valor cero indica que no existe riesgo adicional por la exposición, mientras que un riesgo atribuible superior a cero indica un riesgo adicional de desarrollar enfermedades atribuidas a una cierta exposición.

Una de las mayores debilidades en la evidencia epidemiológica es la existencia de factores de confusión. Estos pueden ser cualquier variable que esté relacionada con el contaminante o tóxico en cuestión, pero que también está independientemente relacionada con el cambio en la salud.

Muchos de estos factores se pueden controlar en modelos estadísticos; sin embargo, en ocasiones es imposible tomar en cuenta todos los posibles factores de confusión. Su presencia, como son las exposiciones simultáneas a otras sustancias tóxicas, la variabilidad del estado socio-económico y de salud, pueden hacer que los efectos de un agente de riesgo determinado sean difíciles de determinar.

Un factor de confusión puede ser, por ejemplo, el tabaquismo en una población en la que se traten de evaluar los efectos por exposición al monóxido de carbono proveniente de la emisión de vehículos motorizados, puesto que fumar es también una fuente de exposición a este contaminante. Otras incertidumbres involucradas con estudios epidemiológicos incluyen la medición inadecuada de la exposición, la poca representatividad de la población estudiada y las dificultades en la interpretación de los efectos de pequeña magnitud.

6.2.2 Plan de Acción

Una vez que se comprueba que el sitio en estudio constituye un Suelo con Presencia de Contaminantes (SPC), debido a que presenta un riesgo relevante y que por tanto puede constituir un riesgo para la salud de las personas, se hace necesaria la implementación de un Plan de Acción.

El Plan de Acción debe contemplar actividades y medidas de control a corto, mediano y largo plazo, las que se detallan a continuación.

6.2.1.7 Medidas de Control de Corto Plazo

Las medidas de control de corto plazo están orientadas, principalmente, a la generación de una estrategia para afrontar la situación de contaminación, a informar a la comunidad sobre los riesgos encontrados y a la implementación de medidas de gestión sencillas que permitan aminorar el riesgo en forma inmediata.

I. Generación de una Estrategia

La estrategia para afrontar el problema de contaminación debe considerar aspectos administrativos, técnicos y económicos. En cuanto a aspectos administrativos, como primera medida, debieran ser convocados los Órganos de la Administración del Estado competentes, para desarrollar y levantar las medidas de control aptas y específicas para el SPC. Para esto es deseable la conformación de comités interinstitucionales para el desarrollo, seguimiento y control del Plan de Acción.

El Plan de Acción puede ser desarrollado y financiado por actores privados y/o por la autoridad, dependiendo de la existencia o no de un responsable. En caso de que no sea posible identificar a un responsable, pueden ser contempladas distintas vías de financiamiento, como participación público privada (de carácter voluntaria), postulación al Fondo de Protección Ambiental, Fondos de Desarrollo Regional, o a través de mecanismos de compensación autorizados por la Ley 19.300 en el Sistema de Evaluación Ambiental, lo cual debe ser evaluado en cada caso.

II. Comunicación del Riesgo¹⁷

Es necesaria la implementación de medidas tendientes a informar a la comunidad e involucrados sobre la situación de contaminación, actividad conocida como "Comunicación del Riesgo". En líneas generales, se entiende como la etapa en que se establecen las vías de interacción e intercambio de información entre los diferentes actores sociales involucrados (grupo o comunidad local, titulares de la actividad riesgosa, agentes responsables de los procesos de la remediación ambiental y autoridad gubernamental).

El objetivo principal de la Comunicación del Riesgo consiste en generar un entorno de comunicación basado en la confianza y credibilidad, que permita a la comunidad acceder a una adecuada información respecto de la situación ambiental en cuestión, brindando elementos de juicio, de manera que los involucrados tomen una posición reflexiva y colaborativa ante la situación planteada. De esta manera, en esta etapa es necesario informar y aclarar al menos los peligros de la situación de contaminación, la probabilidad de que se manifiesten y las consecuencias o daños previsibles, si tales o cuales situaciones se concretan.

Otra de las variables a considerar en la Comunicación del Riesgo tiene relación con la Percepción del Riesgo, entendida como la apreciación subjetiva respecto de las características y la gravedad de un peligro en un espacio socio-ambiental determinado. Así la Percepción de Riesgo conlleva componentes tanto emocionales como de actitud, además de los aspectos vinculados a los conocimientos que las personas tengan del problema en cuestión.

De acuerdo a lo anterior, es recomendable, que tanto las autoridades gubernamentales como los actores privados y sociales, mantengan adecuados canales de comunicación de manera de evitar o prevenir malas interpretaciones, teniendo presente que los planes y/o acciones de comunicación siempre transcurren en realidades específicas, desde el punto de vista social, económico, espacial y temporal.

Debe considerarse además que las cuestiones técnicas atinentes a la seguridad de las personas, entendida como el conjunto de factores, elementos y/o actitudes que producen un descenso en el nivel de riesgo real y que permiten alcanzar un nivel de riesgo evaluado (y percibido) como "aceptable", son asuntos que naturalmente el público delega a los especialistas bajo la supervisión de la autoridad gubernamental o directamente bajo el control de esta última.

¹⁷ Basado en Gustavo Choconi (2010). Comunicaciones de Riesgo: Una Aproximación Conceptual/Documento de Trabajo.



Por último, debe tenerse presente que la información adecuada sobre la situación ambiental en curso así como cierto grado de control transferido a la comunidad, permite reducir la incertidumbre circulante en la misma y facilita el buen dialogo.

III. Implementación de Acciones de Control Inmediatas

Dependiendo de la gravedad del riesgo encontrado, en algunos casos se hace necesaria la implementación de acciones de control de rápida aplicación, las que van desde la instalación de señalética, o de cierres perimetrales en el SPC, hasta la implementación de técnicas de contención sencillas, cuya necesidad debe evaluarse en cada caso. Por ejemplo en el caso de que exista un acopio de suelo con presencia de hidrocarburos volátiles a la intemperie, una medida rápida y provisional de control puede ser la instalación de materiales de sellado a nivel superficial para evitar la dispersión del suelo y la volatilización de los hidrocarburos, o en el caso de que la capa superficial del suelo presente un elevado contenido de metales que son movilizados por la acción del viento, podrían ser medidas provisionales de control útiles la implementación de mallas raschel para capturar el polvo levantado o la aplicación de estabilizantes en el suelo.

En la Figura 16 se resumen las principales medidas de corto plazo que debe contemplar un Plan de Acción para la Gestión de un Suelo con Presencia de Contaminantes.

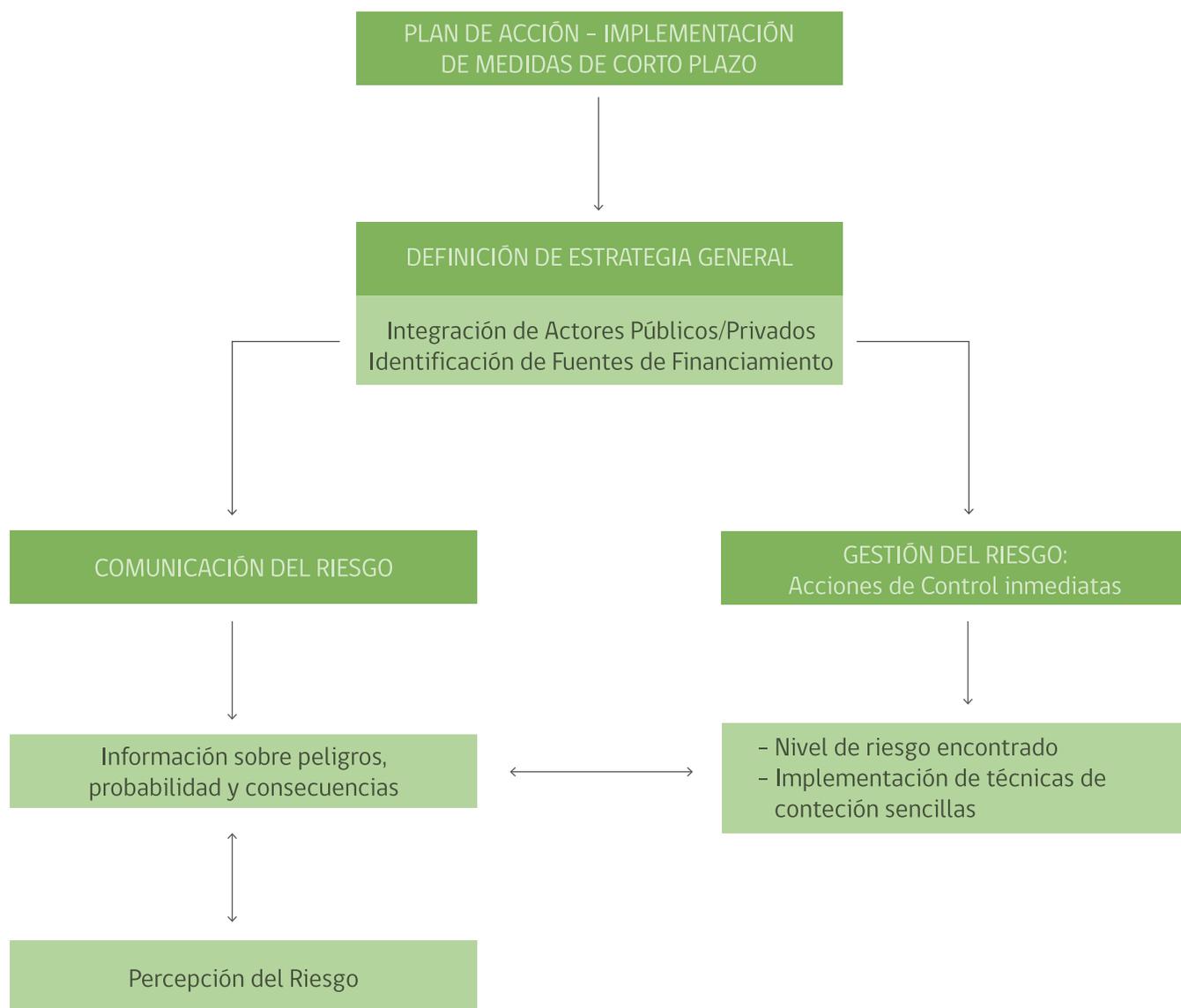


FIGURA 16 Esquema de Medidas de Corto Plazo de un Plan de Acción para la Gestión de un SPC.



6.2.1.8 Medidas de Control a Mediano y Largo Plazo

Las medidas de control de mediano y largo plazo se relacionan con la evaluación e implementación de alternativas de remediación que permitan disminuir el riesgo encontrado y llevarlo a niveles aceptables de forma definitiva o a largo plazo. Estas alternativas deben asegurar la protección, en este caso, de la salud humana, a través de la eliminación/destrucción de la(s) sustancia(s) contaminante(s), la reducción de la concentración de la(s) sustancia(s) hasta niveles aceptables, el control de las rutas de exposición, o una combinación de las anteriores.

La selección de las alternativas de remediación más idóneas para el SPC en estudio puede desarrollarse en base a etapas y criterios generales sugeridos por la US EPA¹⁸. En una primera instancia se aplican 6 etapas o pasos que permiten la selección preliminar de tecnologías y procesos para la remediación, los que se combinan para generar alternativas de remediación. Posteriormente se emplean 9 criterios específicos que permiten la evaluación detallada de las alternativas seleccionadas previamente. Los pasos o etapas para la selección preliminar son descritos brevemente a continuación:

1. Definición de los objetivos de la remediación, en función de los contaminantes y medios de interés, las rutas de exposición y los Valores Objetivo de Remediación (VOC). Estos últimos pueden ser derivados a partir de criterios de toxicidad, factores de exposición sitio-específicos y niveles de riesgo aceptable.
2. Identificación de opciones de remediación aplicables para los medios ambientales de interés definidos, ya sean de contención, tratamiento, excavación, extracción, u otras, estas en forma separada o combinada, en función de la factibilidad de cada una de estas de satisfacer los objetivos de la remediación determinados en el paso anterior.
3. Delimitación de la contaminación, estimando el área/volumen del medio en el que las acciones de remediación serán aplicadas, tomando en consideración los requerimientos identificados en la determinación de los objetivos de remediación y la caracterización físico-química del SPC.
4. Identificación y selección de tecnologías aplicables para cada opción de remediación, descartando aquellas tecnologías que presenten impedimentos técnicos para implementarlas en el SPC en estudio.

5. Identificación y evaluación preliminar de opciones de procesos específicos disponibles para cada tecnología aplicable, considerando criterios de efectividad, factibilidad de implementación y costos asociados, para seleccionar así procesos representativos para cada tipo de tecnología seleccionada.

- Efectividad: considera la evaluación de los distintos procesos de una misma tecnología en base a su efectividad potencial en el manejo de áreas/volumen estimadas del medio contaminado para alcanzar los objetivos de remediación planteados, su impacto potencial en la salud humana y el ambiente durante la fase de construcción e implementación de la tecnología y el grado de confiabilidad del proceso respecto a los contaminantes a tratar y las condiciones específicas del SPC.
- Factibilidad: considera la evaluación de la factibilidad de implementación en cuanto a aspectos técnicos y administrativos. La evaluación de la factibilidad técnica permite descartar aquellos procesos que resulten ineficaces o impracticables en el SPC. En una evaluación posterior, más detallada, se debe poner mayor énfasis en los aspectos administrativos, tales como la capacidad de obtener los permisos necesarios, la disponibilidad de tratamiento, almacenamiento y eliminación de residuos generados, así como la de los equipos y trabajadores necesarios para implementar la tecnología.
- Costos: tiene un rol limitado en la selección preliminar de opciones de remediación, utilizándose estimaciones para los costos de capital, operación y mantención. En esta etapa, el análisis de costos se hace sobre la base de criterios de ingeniería, y cada proceso es evaluado en función de si los costos son altos, medios o bajos en comparación con otras opciones de procesos, para una misma tecnología. Las diferencias más importantes de costos en la remediación se asocian generalmente con la comparación de distintos tipos de tecnología (contención, tratamiento, excavación, otras).

6. Evaluación de combinación de tecnologías seleccionadas, explorando la gama de potenciales soluciones de remediación en función de los tratamientos seleccionados, generando alternativas de remediación.

El esquema general de trabajo para la aplicación de los seis pasos o etapas antes señalados se presenta en la Figura 17.

18 US EPA (1998). Guidance for Conducting Remedial Investigations and Feasibility Studies Under CERCLA. pp 4-3 - 4.25

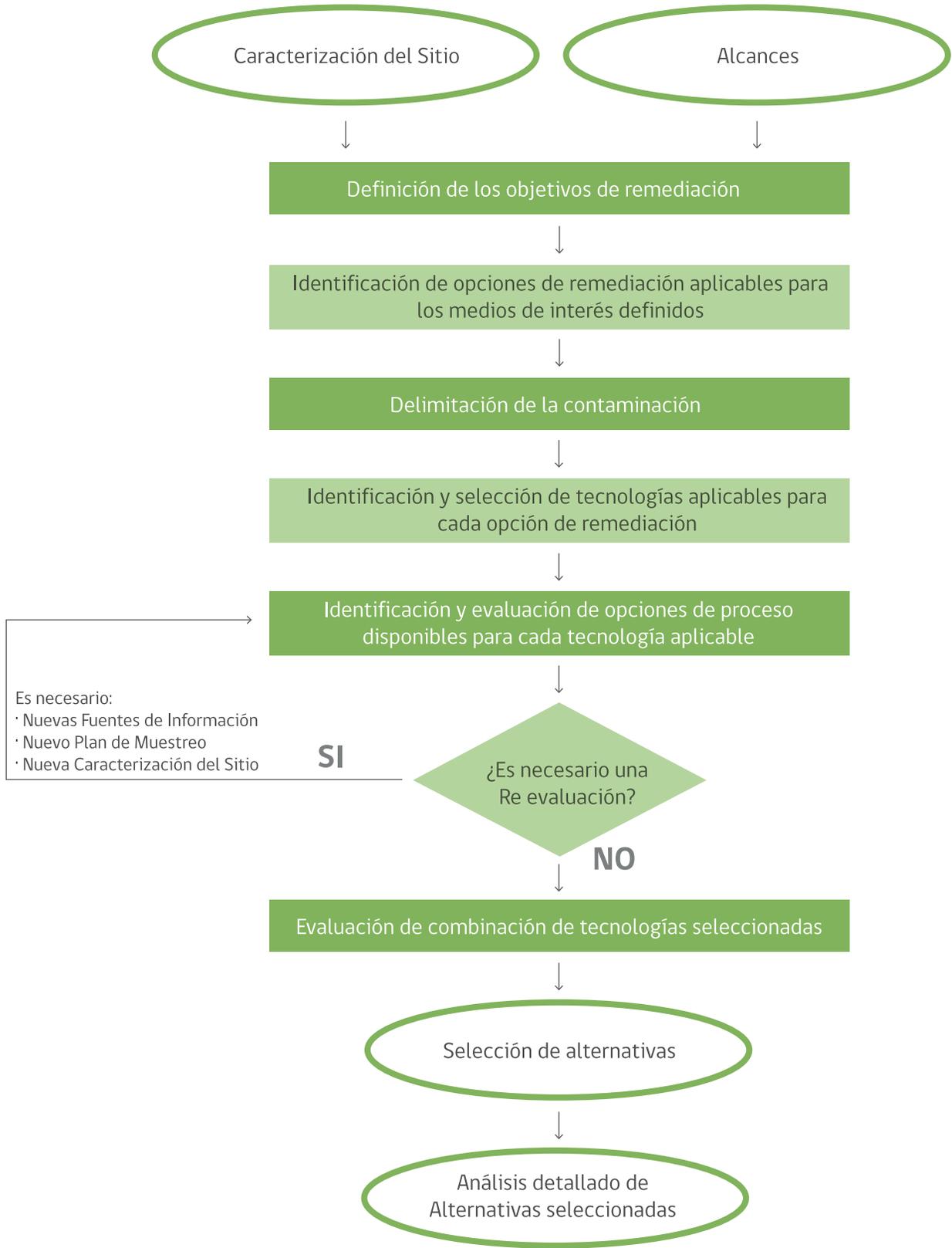


FIGURA 17 Esquema para la Selección de Alternativas de Remediación. (Basado en US EPA. 1998).



De acuerdo a lo señalado en la Figura 18, una vez que las alternativas de remediación han sido seleccionadas, debe procederse a efectuar un análisis detallado de las mismas. Para esto las alternativas son reevaluadas en base a nueve criterios específicos propuestos por US EPA. La relación entre los criterios de la evaluación preliminar (criterios señalados en el paso o etapa 5) y los nueve criterios específicos de la evaluación detallada se esquematiza en la Figura 20.

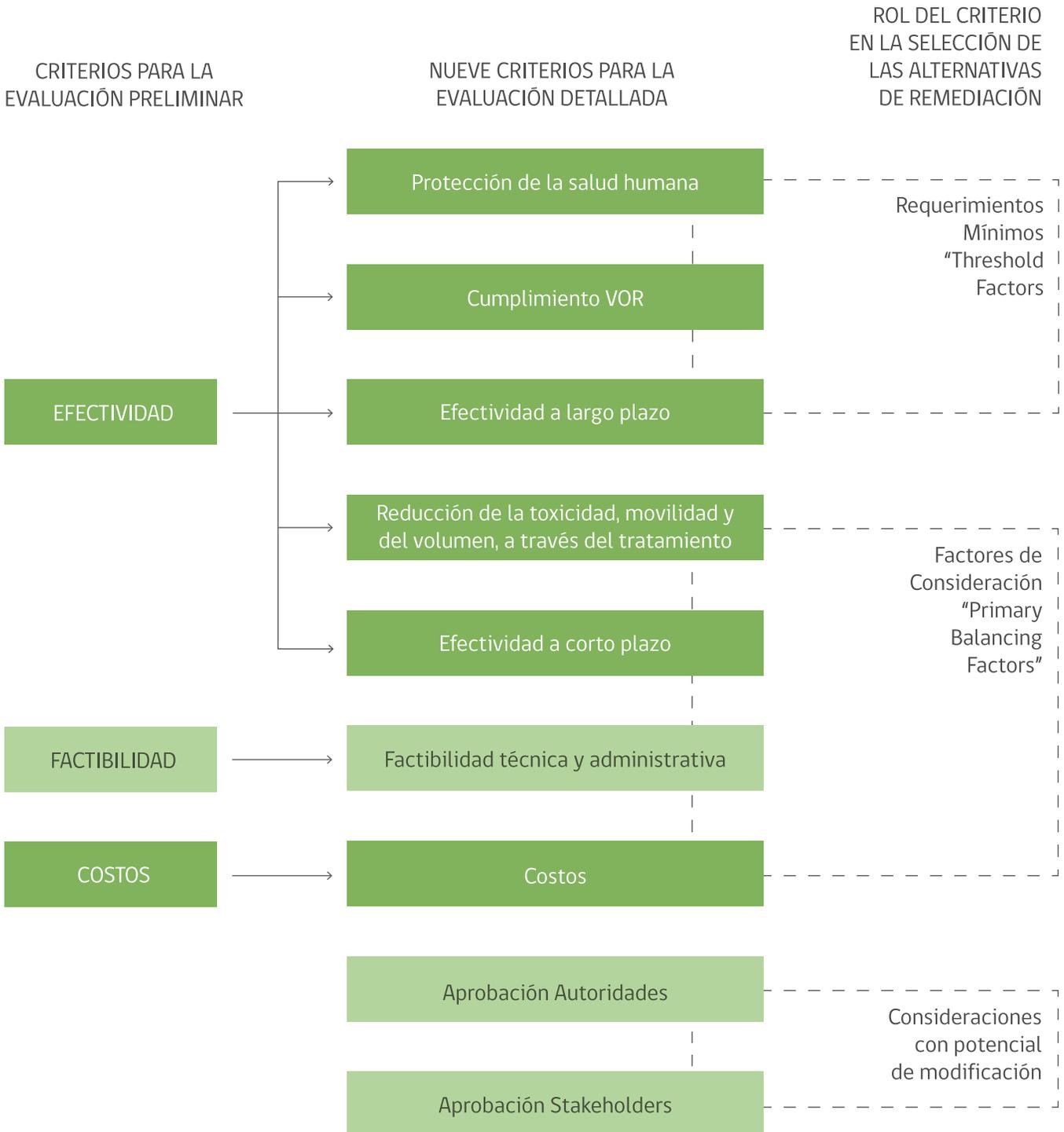


FIGURA 18 Relación entre Criterios de Evaluación Preliminar y Detallada de Alternativas de Remediación.

I. Tecnologías de Remediación

De acuerdo al Manual del Círculo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía perteneciente a la Universidad de Alcalá, en conjunto con documentos de la US EPA, las técnicas de remediación dependen de: las características del suelo y del contaminante, de la eficacia esperada con cada tratamiento, de su viabilidad económica y del tiempo estimado para su desarrollo.

Las tecnologías de remediación normalmente pueden agruparse en función de sus características de operación o finalidad, según los siguientes criterios:

A. Lugar en que se aplica el proceso de remediación

Según el lugar de aplicación del proceso, existen tratamientos in situ, que actúan sobre los contaminantes en el lugar en el que se localizan, y tratamientos ex situ, que requieren la excavación previa del suelo para su posterior tratamiento, ya sea en el mismo lugar (tratamiento on-site) o en instalaciones externas que requieren el transporte del suelo contaminado (tratamiento off-site). Los tratamientos in situ requieren menos manejo, pero por lo general son más lentos y más difíciles de llevar a la práctica, dada la dificultad que se presenta al tener un contacto directo entre el suelo con presencia de contaminantes con el resto del suelo que no requiere de remediación. Los tratamientos ex situ, en tanto, suelen ser más costosos pero también más rápidos, consiguiendo normalmente una recuperación más completa de la zona afectada.

B. El objetivo de la remediación

En función de los objetivos que se quieran alcanzar para remediar un Suelo con Presencia de Contaminantes, se presentan las siguientes técnicas:

a) Técnicas de Contención: esta técnica aísla el contaminante en el suelo sin actuar sobre él, generalmente mediante la aplicación de barreras físicas en este último.

b) Técnicas de Confinamiento: las cuales reducen la movilidad de los contaminantes en el suelo para evitar su migración actuando directamente sobre las condiciones fisicoquímicas bajo las que se encuentran los contaminantes.

c) Técnicas de Descontaminación: dirigidas a disminuir la concentración de los contaminantes en el suelo.



C. Tipo de tratamiento utilizado

En la clasificación de las tecnologías según el tipo de tratamiento aplicado se pueden distinguir:

a) Tratamientos Biológicos: están enfocados en la degradación, transformación y/o remoción de contaminantes mediante la actividad metabólica natural de ciertos organismos

b) Tratamientos Físico-químicos: logran la destrucción, separación y/o contención de contaminantes aprovechando las propiedades físicas y/o químicas de los contaminantes o del medio

c) Tratamientos Térmicos: utilizan altas temperaturas para volatilizar, descomponer o fundir los contaminantes.

D. Grado de desarrollo técnico en el que se encuentran

Según su grado de desarrollo, las tecnologías utilizadas son clasificadas como:

a) Tecnologías Tradicionales: aquellas utilizadas comúnmente a gran escala, de probada efectividad y cuya información acerca de costos y eficiencia es de fácil acceso.

b) Tecnologías Innovadoras: aquellas tecnologías propuestas más recientemente y que se encuentran en etapas de investigación y/o desarrollo, por tanto la información en cuanto a su aplicación, costos y efectividad es aun limitada.

El esquema presentado en la Figura 19 presenta los distintos criterios expuestos para la clasificación de las tecnologías de remediación de suelos y aguas subterráneas.

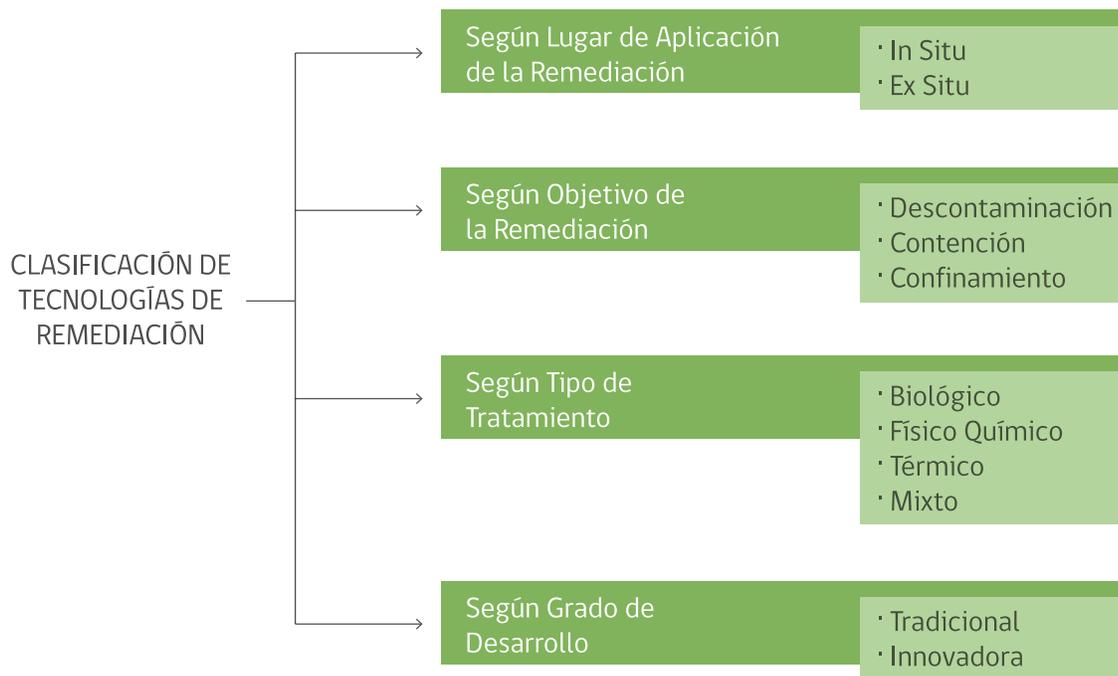


FIGURA 19 Criterios para la Clasificación de Tecnologías de Remediación de SPC

TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO PARA SUELOS Y AGUAS SUBTERRÁNEAS

TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS	TRATAMIENTOS FÍSICO-QUÍMICOS	TRATAMIENTOS TÉRMICOS
<ul style="list-style-type: none"> ▸ Bioaugmentación ▸ Biodegradación Asistida ▸ Biotransformación de Metales ▸ Bioventing ▸ Compostaje ▸ Fitorremediación ▸ Landfarming ▸ Lodos Biológicos ▸ Pilas Biológicas 	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Adición de Enmiendas ▸ Barreras de Suelo Seco ▸ Barreras Físicas (Verticales/Horizontales) ▸ Barreras Hidráulicas ▸ Barreras Permeables Activas ▸ Electrocinética ▸ Estabilización Físico Química ▸ Extracción de Agua ▸ Extracción de Aire ▸ Flushing ▸ Inyección de Aire Comprimido ▸ Inyección de Solidificantes ▸ Lavado de Suelos ▸ Oxidación UV ▸ Pozos de Recirculación ▸ Sellado de Suelos 	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Calentamiento por Conducción Térmica ▸ Calentamiento por Radiofrecuencia ▸ Calentamiento por Resistencia Eléctrica ▸ Desorción Térmica ▸ Incineración ▸ Inyección de Agua Caliente ▸ Inyección de Aire Caliente ▸ Inyección de Vapor ▸ Pirólisis ▸ Vitricación
<h3>TRATAMIENTOS MIXTOS</h3> <ul style="list-style-type: none"> ▸ Extracción Multifase ▸ Atenuación Natural 		

FIGURA 20 Principales Tecnologías de Remediación para SPC, Según el Tipo de Tratamiento.

Para más detalles respecto de cada una de estas tecnologías señaladas en la Figura 20, puede revisarse el Manual de Tecnologías de Remediación, desarrollado por Fundación Chile en el marco del proyecto Innova Corfo N°09CN14-5896, el mismo que dio origen a la presente Guía.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM D4448. Standard Guide for Sampling Groundwater Monitoring Wells (2007).
- ASTM D5730. Standard Guide for Site Characterization for Environmental Purposes With Emphasis on Soil, Rock, the Vadose Zone and Ground Water (2004).
- ASTM E1903. Standard Guide for Environmental Site Assessments: Phase II Environmental Site Assessment Process (2011).
- ATSDR: Environmental data needed for public health assessments. A Guidance Manual. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta, Georgia (Junio 1994).
- Guideline de Public Health Assessment ATSRD. Health assessment guidance manual. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. US Department of Health & Human Services. 1992/2007.
- Carlton C et al. DESYRE: Decision Support System for the Rehabilitation of Contaminated Mega sites Integrated Environmental Assessment and Management – Volume 3, Number 2—pp. 211-222 (SETAC) 2007.
- CETESB. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Proyecto de Cooperación Técnica Brasil-Alemania. Secretaria de Medio Ambiente. Sao Paulo (Gobierno do Estado de Sao Paulo). Brasil. 356 p. 1999.
- Circular Nº 23/06 MINISTERIO DE SALUD: Imparte Instrucciones sobre Aplicación del Decreto Supremo Nº 138/05, sobre Declaración de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos
- Círculo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía (CITME), Universidad de Alcalá. Técnicas de Recuperación de Suelos Contaminados. 2007.
- CONAMA-MAYCO Consultores. Guía para preparar estudios de factibilidad de proyectos de remediación de sitios contaminados con COPs. Cap.5 y 6. 2008.
- Crane M Ed. Derivation and Use of Environmental Quality and Human Health Standards for Chemical Substances in Water and Soil. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). 2009.
- Derivation Methods of Soil Screening Values in Europe. A Review and evaluation of national procedures towards harmonization. European Commission JRC 2007.
- DS 138/05 MINISTERIO DE SALUD: Establece Obligación de Declarar Emisiones que Indica.
- DS 148/03 MINISTERIO DE SALUD: Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos - ELIMINACIÓN - Y REÚSO Y RECICLAJE.
- DS 148/03 MINISTERIO DE SALUD: Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos - TRANSPORTE
- DS 1583/92 MINISTERIO DE SALUD: Establece Norma de Emisión de Material Particulado a Fuentes Estacionarias Puntuales que Indica.
- DS 165/98 MINSEGPRES: Norma de Emisión del Contaminante Arsénico emitido al Aire.
- DS 167/99 MINSEGPRES: Norma de Emisión para Olores Molestos (compuestos sulfuro de hidrógeno y mercaptanos: gases TRS) asociados a la fabricación de Pulpa Sulfatada.
- DS 185/91 MINISTERIO DE MINERÍA: Reglamenta Funcionamiento de Establecimientos Emisores de Anhídrido Sulfuroso en todo el Territorio de la República.
- DS 2467/94 MINISTERIO DE SALUD: Aprueba Reglamento de Laboratorios de Medición y Análisis de Emisiones Atmosféricas Provenientes de Fuentes Estacionarias.
- DS 4/92 MINSEGPRES: Establece Norma de Emisión de Material Particulado a Fuentes Estacionarias Puntuales y Grupales.
- DS 46/02 MINSEGPRES: Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas
- DS 609/98 MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS: Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Industriales Líquidos a Sistemas de Alcantarillados.
- DS 90/00 MINSEGPRES: Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales.

- EPA/540/R95/128, Soil Screening guidance: Technical Background Document, United States Environmental Protection Agency. 1996.
- EPA/600/8-87/045. Risk Assessment Guidelines of 1986
- EPA/600/FR-91/001, Dec 1991. Soil Guidelines for Developmental Toxicity Risk Assessment
- EPA/600Z-92/001, May 1992. Guidelines for Exposure Assessment
- EPA/630/R-95/001F, Apr 1998. Guidelines for Neurotoxicity Risk Assessment
- EPA/630/R-96/009, Oct 1996. Guidelines for Reproductive Toxicity Risk Assessment
- EPA/630/R-98/002, Sep 1986. Guidelines for Mutagenicity Risk Assessment U.S. EPA. 1986. Guidelines for the Health Risk Assessment of Chemical Mixtures (PDF) (38 pp, 299 Kb).
- EPA/630/R-98/003, Sep 1986- 08. Guidelines for Mutagenicity Risk Assessment.
- Evaluación de Riesgo de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) <http://www.epa.gov/risk/>
- Evaluación de riesgo de la Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, ATSDR, 1992) <http://www.atsdr.cdc.gov/es/>
- Gustavo Choconi. Comunicaciones de Riesgos: una aproximación conceptual /Documento de Trabajo Septiembre 2010.
- IHOBE, 1998. Investigación de la Contaminación del Suelo. Estudio Histórico y Diseño de Muestreo.
- IHOBE, 2001. Investigación de la Contaminación del Suelo. Manual Práctico.
- ISO 10381-1. Soil Quality-Sampling. Guidance on the design of sampling programmed.
- ISO 10381-2. Soil Quality-Sampling. Guidance on sampling techniques.
- ISO 10381-5. Soil Quality-Sampling. Guidance on the procedure for the investigation of urban and industrial sites with regard to soil contamination.
- Ley 20.096: Establece Mecanismo de Control Aplicables a las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Gobierno de España, 2010. Análisis ambiental de los sedimentos y del entorno del embalse de Sabiñánigo (Huesca) y evaluación de riesgos-DOCUMENTO Nº 3. Evaluación de riesgos.
- OMS. 2000. Método de Evaluación de Riesgos para la Salud Generados por la Exposición a Sustancias Peligrosas Liberadas por Rellenos Sanitarios.
- Ord. 1093/02 MINISTERIO DE SALUD: Instruye sobre Autorizaciones Sanitarias en Materia de Transporte de Residuos
- Real Decreto 9/2005; Criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados España.
- RES 15027/94 SESMA: Establece Procedimiento de Declaración de Emisiones para fuentes estacionarias que indica.
- Res. 1442/04 SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS SANITARIOS: Establece el Formato Nº 2 DS SEGPRES 90/2000 "Caracterización de Riles" y su Instructivo, para Presentación ante la SISS de la Caracterización de los Residuos Líquidos Industriales Descargados a Cuerpos de Aguas Superficiales Continentales y Lacustres.
- Res. 2505/03 SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS SANITARIOS: Declara Aplicable el Instructivo "Calificación de Establecimiento Industrial, Procedimientos Técnicos y Administrativos", de Agosto de 2003.
- Res. 359/05 MINISTERIO DE SALUD: Aprueba Documento de Declaración de Residuos Peligrosos.
- Res. 499/06 MINISTERIO DE SALUD: Aprueba Documento Electrónico de Declaración de Residuos Peligrosos.
- Standard Classification of Environmental Condition of Property Area Types for Defense Base Closure and Realignment Facilities. D5746 - 98(2010).
- Standard Guide for Accelerated Site Characterization for Confirmed or Suspected Petroleum Releases. E1912 - 98(2004).
- Standard Guide for Basic Assessment and Management of Greenhouse Gases. E2725 - 10
- Standard Guide for Development of Conceptual Site Models and Remediation Strategies for Light Nonaqueous-Phase Liquids Released to the Subsurface. E2531 - 06e1.

- Standard Guide for Disclosure of Environmental Liabilities. E2173 - 07(2011).
- Standard Guide for Environmental Compliance Performance Assessment. E2365 - 05.
- Standard Guide for Environmental Health Site Assessment Process for Military Deployments. E2318 - 03.
- Standard Guide for Estimating Monetary Costs and Liabilities for Environmental Matters. E2137 - 06(2011).
- Standard Guide for Financial Disclosures Attributed to Climate Change. E2718 - 10.
- Standard Guide for Investigation of Equipment Problems and Releases for Petroleum Underground Storage Tank Systems. E2733 - 10.
- Standard Guide for Performing Evaluations of Underground Storage Tank Systems for Operational Conformance with 40 CFR, Part 280 Regulations. E1990 - 98(2005).
- Standard Guide for Process of Sustainable Brownfields Redevelopment. E1984 - 03.
- Standard Guide for Property Condition Assessments: Baseline Property Condition Assessment Process. E2018 - 08.
- Standard Guide for Remediation of Ground Water by Natural Attenuation at Petroleum Release Sites. E1943 - 98(2010).
- Standard Guide for Remedy Selection Integrating Risk-Based Corrective Action and Non-Risk Considerations. E2616 - 09.
- Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites. E1739 - 95(2010)e1.
- Standard Guide for Risk-Based Corrective Action for Protection of Ecological Resources. E2205 / E2205M - 02(2009)e1.
- Standard Guide for Risk-Based Corrective Action. E2081 - 00(2010)e1.
- Standard Practice for Conducting Environmental Baseline Surveys. D6008 - 96(2005).
- Standard Practice for Environmental Regulatory Compliance Audits. E2107 - 06Standard Practice for Environmental Site Assessments: Phase I Environmental Site Assessment Process for Forestland or Rural Property. E2247 - 08.
- Standard Practice for Environmental Site Assessments: Phase I Environmental Site Assessment Process. E1527 - 05
- Standard Practice for Environmental Site Assessments: Phase II Environmental Site Assessment Process. E1903 - 11.
- Standard Practice for Limited Environmental Due Diligence: Transaction Screen Process. E1528 - 06.
- SUSEPA, 1989. "Risk Assessment Guidance for Superfund, Volume 1 - Human Health Evaluation Manual, Part A - Baseline Risk Assessment".
- U.S. EPA, 1991. Risk Assessment Guidance for Superfund. Vol I: Human Health Evaluation Manual.
- U.S. EPA, 1996. Soil Screening Guidance: Technical Background Document.
- US EPA 2005 Guidelines for Carcinogen Risk Assessment.
- US. EPA, 1996. Soil Screening Guidance: Technical Background Document
- USEPA 540/R-95/140, 1995. Representative Sampling Guidance Volume 2: Air. United States Environmental Protection Agency. Washington DC.
- USEPA 600/8-89/046, 1989. Soil Sampling Quality Assurance User's Guide, Second Edition. United States Environmental Protection Agency. Washington DC.
- USEPA, 1992. Rcr Groundwater Monitoring: Draft Technical Guidance. United States Environmental Protection Agency. Washington DC.
- USEPA, 2001. Laboratory Documentation Required For Data Evaluation. Quality Assurance Office. San Francisco, California.
- USEPA, 823-R-95-001, 1995. QA/QC Guidance For Sampling And Analysis Of Sediments, Water And Tissues For Dredged Material Evaluations, United States Environmental Protection Agency. Washington DC.
- USEPA, 9355.4-23, 19 Soil Screening guidance: User's Guide, United States Environmental Protection Agency.
- USEPA, Elements for Effective Management Of Operating Pump And Treatment Systems. United States Environmental Protection Agency. Washington DC.
- USEPA. 1989. Environmental Protection Agency. Risk. Exposure factors handbook. Office of Health and Environment Assessment. EPA/600/8-89/043.
- USEPA. 2000. Environmental Protection Agency. Supplementary guidance for conducting health risk assessment of chemical mixtures. Office of Research and Development. EPA/630/R-00/002.
- USEPA.1988. Guidance for Conducting Remedial Investigations and Feasibility Studies under CERCLA. EPA/540/G-89/004.
- Van den Berg et al. Risk assessment of contaminated soil: proposal for adjusted, toxicologically based Dutch soil cleanup criteria. In: Contaminated soil '93. Arendt et al., eds. Kluwer Academic Pub, Netherlands. Pp349- 364. 1993.

8. ANEXOS

ANEXO1: Actividades Potencialmente Contaminantes del Suelo

N°	Rubro	Proceso Específico
1	Varios	Extracción de crudos de petróleo y gas natural.
2		Actividades de los servicios relacionados con las explotaciones petrolíferas y de gas, excepto actividades de prospección.
3	Varios	Extracción de minerales metálicos no férricos, excepto minerales de uranio y torio.
4		Fabricación de grasas y aceites (vegetales y animales).
5	Textil	Acabado de textil.
6	Textil	Fabricación de tejidos impregnados, endurecidos o recubiertos en materias plásticas.
7	Curtiembre	Preparación, curtido y teñido de pieles de peletería.
8	Curtiembre	Preparación, curtido y acabado del cuero.
9	Químico	Aserrado y cepillado de la madera, preparación industrial de la madera.
10	Varios	Fabricación de chapas, tableros, contrachapados, alistonados, de partículas aglomeradas, de fibras y otros tableros de paneles.
11	Químico	Fabricación de pasta papelera, papel y cartón.
12	Varios	Fabricación de papeles pintados.
13	Varios	Artes gráficas y actividades de los servicios relacionados con las mismas.
14		Coquerías.
15	Químico	Refino de petróleo.
16	Químico	Fabricación de productos químicos básicos.
17	Químico	Fabricación de pesticidas y otros productos agroquímicos.
18	Químico	Fabricación de pinturas, barnices y revestimientos similares; tinta de imprenta y masilla.
19	Químico	Fabricación de productos farmacéuticos.
20	Químico	Fabricación de jabones, detergentes y otros artículos de limpieza y abrillantamiento.
21	Químico	Fabricación de perfumes y productos de belleza e higiene.
22	Químico	Fabricación de otros productos químicos.
23	Varios	Fabricación de fibras artificiales y sintéticas.
24	Químico	Fabricación de productos de caucho.
25	Varios	Fabricación de vidrio y productos de vidrio.
26	Químico	Fabricación de artículos cerámicos de uso doméstico y ornamental.
27	Varios	Fabricación de azulejos y baldosas de cerámica.
28	Varios	Fabricación de fibrocemento.
29		Fabricación de productos minerales no metálicos diversos.
30		Fabricación de productos básicos de hierro, acero y ferroaleaciones.
31		Fabricación de tubos de hierro.
32		Fabricación de tubos de acero.
33		Otros procesos de primera transformación del hierro y del acero.
34		Producción y primera transformación de metales preciosos.
35		Producción y primera transformación de aluminio.
36		Producción y primera transformación de plomo, zinc y estaño.
37		Producción y primera transformación de cobre.
38		Producción y primera transformación de otros metales no férricos.
39		Fundición de metales.
40	Varios	Fabricación de elementos metálicos para la construcción.

41	Varios	Fabricación de cisternas, grandes depósitos y contenedores de metal.
42		Fabricación de radiadores y calderas para calefacción central.
43	Varios	Fabricación de generadores de vapor.
44		Forja, estampación y embutición de metales; metalurgia de polvos.
45		Tratamiento y revestimiento de metales.
46		Ingeniería mecánica general por cuenta de terceros.
47	Varios	Fabricación de artículos de cuchillería y cubetería, herramientas y ferretería.
48	Varios	Fabricación de cerraduras y herrajes.
49		Fabricación de productos metálicos diversos, excepto muebles.
50		Fabricación de máquinas, equipos y material mecánico.
51		Fabricación de máquinas, equipo y material mecánico de uso general.
52		Fabricación de maquinaria agraria.
53		Fabricación de Máquinas - Herramientas.
54		Fabricación de maquinarias diversas para usos específicos.
55	Explosivos	Fabricación de armas y municiones.
56		Fabricaciones de aparatos electrodomésticos.
57		Fabricación de máquinas de oficina y equipos de informáticos.
58		Fabricación de motores eléctricos, transformadores y generadores.
59	Varios	Fabricación de aparatos de distribución y control eléctricos.
60		Fabricación de hilos y cables eléctricos aislados.
61	Residuos	Fabricación de acumuladores y pilas eléctricas.
62		Fabricación de lámparas eléctricas y aparatos de iluminación.
63		Fabricación de otro equipo eléctrico.
64		Fabricación de válvulas, tubos y otros componentes electrónicos.
65		Fabricación de transistores de radiodifusión y televisión y de aparatos para la radiotelefonía y radiotelegrafía con hilos.
66	Varios	Fabricación de aparatos de recepción, grabación y reproducción de sonido e imagen.
67	Varios	Fabricación de equipo e instrumentos médico-quirúrgicos y de aparatos ortopédicos.
68		Fabricación de instrumentos y aparatos de medida, verificación, control, navegación y otros fines, excepto equipos de control para procesos industriales.
69	Varios	Fabricación de equipos de control de procesos industriales.
70		Fabricación de vehículos de motor.
71	Varios	Fabricación de carrocerías para vehículos de motor, de remolques y semirremolques.
72		Fabricación de partes, piezas, accesorios no eléctricos para vehículos de motor y sus motores.
73	Varios	Construcción y reparación naval.
Nº	Rubro	Proceso Específico
74		Fabricación de material ferroviario.
75	Varios	Construcción aeronáutica y espacial.
76		Fabricación de motocicletas y bicicletas.
77		Fabricación de muebles.
78		Fabricación de otros artículos que utilicen sustancias peligrosas.
79		Reciclaje de chatarra y desechos de metal.
80		Reciclaje de desechos no metálicos.
81		Producción y distribución de energía eléctrica.
82		Producción de gas, distribución de combustible gaseoso por conductos urbanos, excepto gasoductos.

83		Mantenimiento y reparación de vehículos de motor.
84		Venta, mantenimiento y reparación de motocicletas y ciclomotores y de sus repuestos y accesorios.
85		Venta al por menor de carburantes para la automoción, cuando posean instalaciones de almacenamiento.
86		Intermediarios del comercio de combustibles, minerales, metales y productos químicos industriales.
87	Varios	Comercio al por mayor de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos y productos similares.
88	Químico	Comercio al por mayor de metales y minerales metálicos.
89	Químico	Comercio al por mayor de pinturas y barnices.
90	Químico	Comercio al por mayor de fertilizantes y productos químicos para la agricultura.
91	Químico	Comercio al por mayor de productos químicos industriales.
92	Residuos	Comercio al por mayor de chatarra y producción de desecho.
93	Químico	Comercio al por menor de combustibles.
94	Varios	Transporte por ferrocarril.
95	Varios	Otros tipos de transporte terrestre.
96	Varios	Transporte por tubería.
97	Químico	Depósito y almacenamiento de mercancías peligrosas.
98	Varios	Otras actividades anexas de transporte marítimo.
99	Varios	Otras actividades anexas de transporte aéreo.
100		Laboratorios de revelado, impresión y ampliación de fotografías.
101	Residuos	Recogida y tratamiento de aguas residuales.
102	Residuos	Recogida y tratamiento de otros residuos.
103	Residuos	Actividades de saneamiento, descontaminación y similares.
104	Textil	Lavado, limpieza y teñido de prendas textiles de piel.

ANEXO 2: Obtención de Coordenadas (Geográficas o UTM)

En caso de no contar con un GPS, para obtener una información precisa de la ubicación, se recomienda utilizar el programa Google Earth. Es importante que cualquier coordenada utilice como Sistema de Referencia el Sirgas (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas).

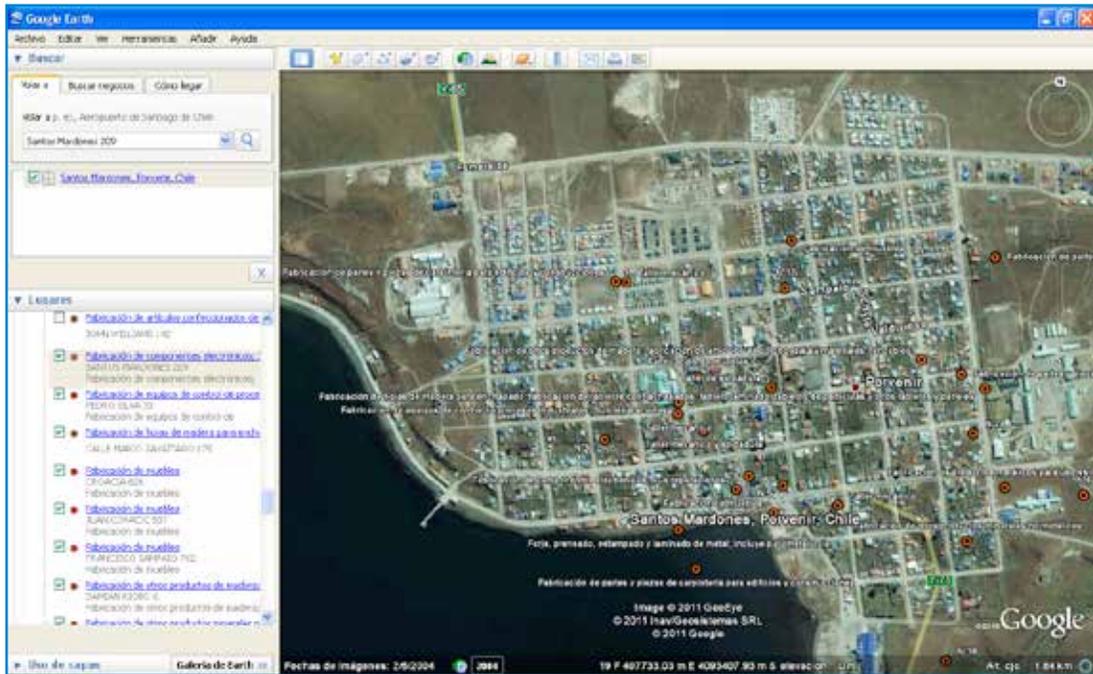
A continuación se describe el procedimiento para determinar las coordenadas de un lugar a partir de su dirección (calle, N^o, comuna, región):

- i. Se procede a abrir el programa Google Earth, en donde se encontrará una pantalla similar a la observada en la Figura 3.
- ii. Ir al menú Buscar, el cual permite al usuario escribir la dirección de la instalación o actividad perteneciente al Listado de SPPC.
- iii. Luego, en el menú Lugares, se observan las direcciones ya encontradas, las que además tienen asociada un ícono en el mapa principal.

iv. Seleccionar el ícono de la dirección respectiva en el mapa principal, con lo cual aparecen las Coordenadas Este y Norte, respectivamente, en la parte inferior de la pantalla.

v. Adicionalmente, es aconsejable revisar el menú Herramientas-Opciones, que permite al usuario configurar el sistema de coordenadas, unidades de medida y otros atributos de la imagen.

A modo de ejemplo, se presenta el procedimiento de búsqueda de coordenadas geográficas efectuada para la comuna de Porvenir, Región de Magallanes, a partir del software Google Earth:



Ejemplo de Distribución Espacial de SPPC Identificados en la Comuna de Porvenir Utilizando Google Earth.

Donde:

1. Menú Buscar: donde se escribe la dirección de la instalación o actividad identificada.
2. Menú Lugares: se observan las direcciones ya encontradas a través de un ícono al que se le puede incluir información adicional.
3. Visualización de dirección encontrada en la imagen.
4. Coordenadas Este y Norte, respectivamente.
5. Menú Herramientas-Opciones: configuración de sistema de coordenadas, unidades de medida y otros atributos de la imagen.

ANEXO 3: Ficha de Inspección de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes

*Nota: obligatorio completar numerales destacados en amarillo

1. Información General

A. IDENTIFICACIÓN DEL SPPC		
1.1	Nombre del SPPC	
1.2	Otro(s) nombre(s) asignado(s) al SPPC	
1.3	Nombre(s) de la(s) Empresa(s) (pasada o actual)	
1.4	Dirección o Referencia	
1.5	Comuna	
1.6	Región	
1.7	Código CIUU (en caso de SPPC activo)	
1.8	Coordenadas	Este: <input type="text"/>
		Norte: <input type="text"/>
		DATUM WGS 84 HUSO 19

B. INFORMACIÓN DE LA INSPECCIÓN

1.9	Fecha de Inspección (día/mes/año):			
1.10	Datos	Evaluador 1	Evaluador 2	Evaluador 3
	Nombre			
	Institución			
	Cargo (Relación con la inspección)			
	Correo electrónico			
	Fono			

C. INFORMACIÓN DE LOS ENTREVISTADOS

1.11	Datos	Entrevistado 1	Entrevistado 2	Entrevistado 3
	Nombre			
	Relación con el SPPC (habitante, trabajador, dueño, representante de municipalidad u otra institución, otro)			
	Institución/Cargo/ Función (en caso que aplique)			
	Correo electrónico			
	Fono			

Observaciones:

D. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SPPC

1.12	Tipo de Propiedad	<input type="checkbox"/> Fiscal <input type="checkbox"/> Privada ¿Área Protegida? _____
1.13	Nombre(s) del (los) Propietario(s) (persona natural, sociedad u otro)	
1.14	Área Aproximada (Ha Cerco u otra delimitación)	
1.15	Estatus del SPPC	<input type="checkbox"/> Inactivo <input type="checkbox"/> Activo Desde el año _____
1.16	Tamaño de la Empresa (actual o pasada)	Por ventas anuales en UF : N° de Trabajadores :
1.17	Descripción General de la(s) Actividad(es) Productiva(s) que se han Desarrollado, Identificando las Etapas Principales del(los) Proceso(s):	
1.18	Identificación de Instalaciones Existentes, destacando aquellas de especial importancia ¹⁹ :	
1.19	¿Existencia de Denuncias, Inspecciones, Accidentes y/o Derrames? Describir:	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO

19 Instalaciones o sectores afectados por accidentes o derrames, de tratamiento de residuos y/o almacenamiento temporal, entre otras.

2. Información de la Actividad Industrial

A. PROCESO PRODUCTIVO POTENCIALMENTE CONTAMINANTE		
2.1	Tipo de Actividad(s) que se ha(n) desarrollado en el SPPC:	
2.2	Identificación de(los) Proceso(s) Industrial(es) Potencialmente Contaminante(s)	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Almacenamiento de derivados de hidrocarburos (aceites usados, aceites minerales,). <input type="checkbox"/> Almacenamiento de Mineral <input type="checkbox"/> Almacenamiento de Residuos Industriales no Peligrosos y Residuos Sólidos Domiciliarios <input type="checkbox"/> Almacenamiento de Residuos Industriales Peligrosos <input type="checkbox"/> Almacenamiento de Combustible <input type="checkbox"/> Almacenamiento y/o distribución de Combustible Anterior a 1996 <input type="checkbox"/> Almacenamiento y/o distribución de Combustible Posterior a 1996 <input type="checkbox"/> Amalgamación <input type="checkbox"/> Chancado <input type="checkbox"/> Cianuración <input type="checkbox"/> Depósitos de Escoria <input type="checkbox"/> Depósitos de Relaves <input type="checkbox"/> Depósitos de Cenizas <input type="checkbox"/> Desmante/estéril <input type="checkbox"/> Depósitos de Ripio de lixiviación <input type="checkbox"/> Extracción de Hidrocarburos <input type="checkbox"/> Fertilizantes y/o aplicación de Plaguicidas y/o almacenamiento </div> <div style="width: 45%;"> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Fundición <input type="checkbox"/> Fusión/conversión <input type="checkbox"/> Flotación y concentración de Metales <input type="checkbox"/> Generación eléctrica (carbón, diesel, petcoke, gas u otros) <input type="checkbox"/> Generación y quema de metano <input type="checkbox"/> Incineración <input type="checkbox"/> Lixiviación <input type="checkbox"/> Lavadero <input type="checkbox"/> Molienda <input type="checkbox"/> Piscina evaporación <input type="checkbox"/> Precipitación <input type="checkbox"/> Refinación <input type="checkbox"/> Refinería y almacenamiento de combustibles <input type="checkbox"/> Sistema de Transporte Relaves y/o Concentrados <input type="checkbox"/> Sistema de Transporte de hidrocarburos y derivados <input type="checkbox"/> S.X.E.W (Extracción por disolvente/extracción electrolítica) <input type="checkbox"/> Teñido de textiles <input type="checkbox"/> Tintas y material de imprenta (<i>tonner</i>) de impresoras <input type="checkbox"/> Tostación <input type="checkbox"/> Vertederos de residuos <input type="checkbox"/> Otro _____ </div> </div>
2.3	Identificar y describir el o los procesos productivos que poseen una mayor probabilidad de ser considerados una Fuente Sospechosa Contaminación:	

3. Información Específica de la(s) Potencial(es) Fuente(s) de Contaminación

A. RESPECTO DE LA(S) POTENCIAL(ES) FUENTE(S) DE CONTAMINACIÓN				
3.1	Nombre de la(s) Potencial (es) Fuente(s) de Contaminación	1. 2. 3. 4.		
3.2	Coordenadas del Punto Central de la(s) Potencial(es) Fuente(s) de Contaminación	1.	Coordenada Este:	Coordenada Norte:
		2. 3. 4.		
		DATUM WGS 84 - HUSO 19		

B. RESPECTO DE LOS MATERIALES UTILIZADOS O GENERADOS EN LA(S) FUENTE(S) DE CONTAMINACIÓN	
3.3	¿Cuáles son las Materias Primas e Insumos ²⁰ ?
3.4	¿Cuáles son los Productos y Subproductos ²¹ ?
3.5	¿Cuáles son los Residuos ²² ?

20 Materias Primas e Insumos: recursos y materiales a partir de los cuales se han obtenido el(los) producto(s).

21 Productos y Subproductos: bienes producidos o elaborados

22 Residuos: todo material de desecho

3.6	<p>¿Alguna de estas sustancias se considera una sustancia peligrosa (NCh 382) o plaguicida de uso agrícola (D.L. 20.275SAG)?</p> <p><input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> SI, ¿Cuáles? _____ _____ _____</p>	
3.7	<p>¿Ya sea en el almacenamiento, transporte y/o disposición de esta sustancia está implementado el DS 78 de MINSAL (almacenamiento), y/o el DS 148 de MINSAL (disposición) ? (solo para SPPC activos)</p> <p><input type="checkbox"/> SI (verificar cumplimiento) <input type="checkbox"/> NO</p>	
3.8	Verificación DS148 (solo para SPPC activos)	Registrar el número de resolución sanitaria y vigencia, empresa que realiza el transporte y disposición de residuos si corresponde, así como el destino final de los mismos:
3.9	Verificación DS 78 (solo para SPPC activos)	Indicar medidas de almacenamiento aplicadas o en proceso de implementación:
3.10	<p>¿Cumple con los instrumentos de gestión y normativos que le correspondan (RCA, permisos sectoriales, otro)? <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO</p> <p>Incorporar los antecedentes:</p>	

En base a la información recopilada en terreno establezca si alguna de las **Potenciales Fuentes de Contaminación**, podría constituir una **Fuente Sospechosa de Generar un Suelo con Presencia de Contaminantes**, ya sea por un mal manejo de la misma u otro de los componentes evaluados. Se recomienda completar este campo luego de la inspección del sector y levantamiento de toda la **Ficha de Inspección de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes**.

C. SOSPECHA DE FUENTE(S) CONTAMINANTE(S)

3.11	Sospecha de Fuente(s) Contaminante(s) ²³	<p><input type="checkbox"/> Con sospecha <input type="checkbox"/> Sin sospecha</p> <p>Justificación (en ambos casos):</p>
3.12	En caso de Sospecha, se asocia a ²⁴ :	<p><input type="checkbox"/> Metales y metaloides <input type="checkbox"/> Sales inorgánicas</p> <p><input type="checkbox"/> Agroquímicos(no COP's) <input type="checkbox"/> HC y aceites minerales</p> <p><input type="checkbox"/> Contaminantes orgánicos persistentes (COPs)</p>

23 1º puntaje: Con sospecha: 0,5, Sin sospecha: 0.

24 2º puntaje: Cada grupo de contaminantes tiene asociado un puntaje estándar de 0.1.

4. Información Específica de la(s) Ruta(s) de Exposición

A. RUTA DE EXPOSICIÓN: SUELO

4.1	¿Hubo uso(s) anterior(es) del terreno?: <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO En caso afirmativo, señalar cual(cuales):
4.2	Suelo potencialmente impactado: <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Área (Ha): -----
4.3	Suelo con recubrimiento Impermeable (losa, pavimento, estabilizante, otros) %:
4.4	Suelo Erosionado (grietas, suelo desnudo, otros) %:

B. RUTA DE EXPOSICIÓN: AGUA SUBTERRÁNEA

4.5	¿Existe agua subterránea? <input type="checkbox"/> SI, Profundidad (m): ----- <input type="checkbox"/> NO
4.6	¿Cómo fue establecida la Profundidad? <input type="checkbox"/> Medición de pozo cercano <input type="checkbox"/> Mapas <input type="checkbox"/> Consulta local
4.7	¿Existe algún pozo de extracción de agua subterránea en el sitio y/o alrededores? (hasta un máximo de 3 Km) <input type="checkbox"/> SI, Distancia (m): ----- <input type="checkbox"/> NO Uso(s) que se le da(n) al agua subterránea: <input type="checkbox"/> Agua Potable <input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Riego <input type="checkbox"/> No aplica <input type="checkbox"/> Recreacional <input type="checkbox"/> Otro -----

C. RUTA DE EXPOSICIÓN: AGUA SUPERFICIAL

4.8 ¿Existe agua superficial? (hasta un máximo de 3 Km) SI NO

4.9 Distancia al curso de agua superficial más cercano (m): _____

4.10 Especificar tipo de cuerpo de agua: _____
(río, lago, laguna, embalse, canal)

4.11 Uso del agua superficial:

<input type="checkbox"/> Agua Potable	<input type="checkbox"/> Industrial
<input type="checkbox"/> Riego	<input type="checkbox"/> No aplica
<input type="checkbox"/> Recreacional	<input type="checkbox"/> Otro _____

D. RUTA DE EXPOSICIÓN: AIRE

4.12 Existen sospechas de emisiones al aire provenientes de la(s) fuente(s) contaminante(s):

<input type="checkbox"/> SI, Material Particulado	Indicar tipo:_____
<input type="checkbox"/> SI, Gases	Indicar tipo:_____
<input type="checkbox"/> NO	

E. OTRAS POTENCIALES RUTAS DE EXPOSICIÓN:

4.13 En un radio máximo de 3 Km:

<input type="checkbox"/> Actividad Agrícola (frutas y Hortalizas)	<input type="checkbox"/> Actividad pesquera
<input type="checkbox"/> Actividad Pecuaria (Crianza Animales y producción láctea)	<input type="checkbox"/> Otras Actividades

F. RESUMEN DE LAS RUTAS DE EXPOSICIÓN IDENTIFICADAS

4.14 Medios Potencialmente Impactados (puede ser más de uno)²⁵:

<input type="checkbox"/> Agua de consumo humano (superficial y/o subterránea)	<input type="checkbox"/> Aire
<input type="checkbox"/> Suelo	<input type="checkbox"/> Frutas y Hortalizas
<input type="checkbox"/> Agua otros usos (recreacional, riego, industrial)	<input type="checkbox"/> Peces
<input type="checkbox"/> Sedimentos	<input type="checkbox"/> Lácteos y Carnes

25 3º puntaje: Agua de consumo humano (superficial o subterránea): 0.2, Aire: 0.2, Suelo: 0.15, Agua otros usos (recreacional, riego, industrial): 0.15, Frutas y Hortalizas: 0.1, 0.15, Peces: 0.1, Lácteos y Carnes: 0.05, Sedimentos: 0.05.

5. Información Específica de los Potenciales Receptores Expuestos

A. RECEPTORES: ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN LAS CERCANÍAS (A un radio máximo de 3 Km alrededor de la(s) Fuente(s) Potencial(es) de Contaminación)

5.1	¿El SPPC es Accesible al Público? <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
5.2	¿Población Humana Potencialmente Expuesta? (hasta un máximo de 3 Km) <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
Residentes	Nombre del poblado: Distancia al sitio (m): Número aproximado de habitantes:
Trabajadores	Actividad que desarrollan: Distancia al sitio (m): Número aproximado de trabajadores: Jornada Laboral o Turno: Horas/Mes: _____ Turno: _____ Equipo de Protección Personal: <input type="checkbox"/> Casco <input type="checkbox"/> Guantes <input type="checkbox"/> Mascarilla (tipo.....) <input type="checkbox"/> Buzo térmico / overol <input type="checkbox"/> Zapatos de Seguridad
5.3	Descripción de información sobre sintomatologías (si existiese) o enfermedades laborales asociadas a la potencial fuente de contaminación:
5.4	¿Presencia de al menos una especie vegetal o animal en alguna categoría de conservación, de áreas protegidas por parte del Estado y/o de ecosistemas de alta relevancia por la función ambiental o servicio ecosistémico que prestan? En caso afirmativo, señalar.

B. RESUMEN DE LOS RECEPTORES IDENTIFICADOS

5.5	Receptores Potencialmente Impactados (puede ser más de uno): <input type="checkbox"/> Residentes <input type="checkbox"/> Trabajadores <input type="checkbox"/> Receptores ecológicos Distancia al SPPC de receptores humanos más cercanos (m) ²⁶ : _____ Número total de receptores humanos potencialmente expuestos ²⁷ : _____
------------	---

26 4º puntaje: Distancia receptores, 0-2 km: 0,6, 2-3 km: 0,4.

27 5º puntaje: > 100.000 hab.: 0,4, 10.000 - 100.000 hab.: 0,3, 1.000 - 10.000: 0,2, < 1.000 hab.: 0,1

6. Esquemas

A. CROQUIS ESQUEMÁTICO (obligatorio de efectuar)

Indicar fuente(s) de contaminación, vía(s) de exposición y receptores o bienes a proteger:

B. MODELO CONCEPTUAL PRELIMINAR (obligatorio de completar)

Fuente de Contaminación	Componente(s) Ambiental(es) con Potencial Presencia de Contaminantes		Vía de Exposición	Receptores
	<input type="checkbox"/> Agua Sup. <input type="checkbox"/> Agua Sub. <input type="checkbox"/> Sedimento <input type="checkbox"/> Peces	<input type="checkbox"/> Suelo <input type="checkbox"/> Aire <input type="checkbox"/> Frutas y Hortalizas <input type="checkbox"/> Lácteos y Carnes	<input type="checkbox"/> Ingestión <input type="checkbox"/> Inhalación <input type="checkbox"/> Contacto Dérmico	<input type="checkbox"/> Residente <input type="checkbox"/> Trabajador <input type="checkbox"/> Ecológicos
	<input type="checkbox"/> Agua Sup. <input type="checkbox"/> Agua Sub. <input type="checkbox"/> Sedimento <input type="checkbox"/> Peces	<input type="checkbox"/> Suelo <input type="checkbox"/> Aire <input type="checkbox"/> Frutas y Hortalizas <input type="checkbox"/> Lácteos y Carnes	<input type="checkbox"/> Ingestión <input type="checkbox"/> Inhalación <input type="checkbox"/> Contacto Dérmico	<input type="checkbox"/> Residente <input type="checkbox"/> Trabajador <input type="checkbox"/> Ecológicos
	<input type="checkbox"/> Agua Sup. <input type="checkbox"/> Agua Sub. <input type="checkbox"/> Sedimento <input type="checkbox"/> Peces	<input type="checkbox"/> Suelo <input type="checkbox"/> Aire <input type="checkbox"/> Frutas y Hortalizas <input type="checkbox"/> Lácteos y Carnes	<input type="checkbox"/> Ingestión <input type="checkbox"/> Inhalación <input type="checkbox"/> Contacto Dérmico	<input type="checkbox"/> Residente <input type="checkbox"/> Trabajador <input type="checkbox"/> Ecológicos
	<input type="checkbox"/> Agua Sup. <input type="checkbox"/> Agua Sub. <input type="checkbox"/> Sedimento <input type="checkbox"/> Peces	<input type="checkbox"/> Suelo <input type="checkbox"/> Aire <input type="checkbox"/> Frutas y Hortalizas <input type="checkbox"/> Lácteos y Carnes	<input type="checkbox"/> Ingestión <input type="checkbox"/> Inhalación <input type="checkbox"/> Contacto Dérmico	<input type="checkbox"/> Residente <input type="checkbox"/> Trabajador <input type="checkbox"/> Ecológicos

7. Fuente(s) de información

A. FUENTES DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA	
<input type="checkbox"/> Cartografía	<input type="checkbox"/> Estudios Previos
<input type="checkbox"/> Análisis en Laboratorio	<input type="checkbox"/> Inspección de Campo
<input type="checkbox"/> Otra -----	
Observaciones:	

8. Puntaje de la Ficha

A. CÁLCULO DEL PUNTAJE (obligatorio de completar)				
Fuente(F) 0 o 0,5 + ΣF_i	Ruta(Ru) ΣRu_i	Receptor (Re) (Dis. + Hab.)	Cálculo Puntaje (F + Ru + Re) * 100/3	Puntaje Total(%)
			(_____ + _____ + _____) * 100/3	

ANEXO 4: Recursos y Plazos Estimados Para Aplicar la Fase I a Nivel Regional

En líneas generales, el equipo de profesionales a cargo debe tener conocimientos en temáticas medio ambientales, así como también debe poseer conocimientos intermedios en software (Office, en particular Excel), y manejo de base de datos y herramientas de búsqueda y localización.

Es de suma importancia señalar que la cantidad de profesionales, así como también la duración de todo este proceso, es variable dependiendo de la Región. Es por ello que la Tabla siguiente presenta un ejemplo tentativo de los recursos humanos que deben ser considerados a la hora de aplicar la Fase I en una Región, de acuerdo a la experiencia adquirida al aplicar esta Fase en la Región de Magallanes

Etapas	Nº Profesionales	Tiempo Estimado	Descripción Etapa	Perfil Profesional
Levantamiento de Información e Identificación de Suelos	2	1 mes	Recopilación y levantamiento de diversas fuentes de información.	Profesional ligado a temáticas Ambientales y manejo de <i>software</i> a nivel usuario, con experiencia en búsqueda, desarrollo de base de datos y análisis de la información.
Priorización de Suelos	2	1 mes	Priorización de SPPC a partir del Árbol de Decisión.	Se requiere contar con un equipo de profesionales competentes en temáticas ambientales y herramientas de búsqueda y localización.
Inspección de Suelos	2	Variable	Desarrollo de la inspección de los SPPC ya priorizados.	Se requiere la participación de 2 personas con conocimientos medios-avanzados en temáticas ambientales relativas a sitios contaminados u otras afín, de manera de consensuar las opiniones de lo que se observa en la visita.

En primera instancia se debe contar con un computador que incorpore el software Office y que permita una conexión a internet. El software Office cuenta con una aplicación denominada Excel, la cual contiene una hoja de cálculo que permite trabajar con tablas de datos, gráficos, bases de datos, macros, y otras aplicaciones avanzadas. Esta aplicación facilita el diseño ordenado de una base de datos.

Asimismo, se debe incorporar el uso de programas informáticos existentes en la web tales como Google Earth, Google Map u otro. Estos programas funcionan de manera similar a un Sistema de Información Geográfica (SIG); Google Earth por ejemplo, permite visualizar imágenes en 3D del planeta, combinando imágenes de satélite, mapas y el motor de búsqueda de Google que permite ver imágenes a escala de un lugar específico del planeta. Junto con ello, este programa también incorpora Google Maps, que permite encontrar calles, avenidas y negocios, y ampliarlas de manera legible. Todas estas características facilitan la búsqueda y posterior georreferenciación de los sitios ya que permiten la obtención de las coordenadas (x,y) con la posibilidad de configurar la proyección requerida para Chile: UTM, Huso 19S y Datum WGS84.

Complementariamente a lo anterior, se debe contar con un GPS (Sistema de Posicionamiento Global) de un modelo sencillo y fácil de manejar (modelos e Trex a modo de ejemplo). Este instrumento permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto o persona, con bastante precisión.

En el caso de una visita a terreno para la aplicación de la Ficha de Inspección, el Range Finder es otro equipo recomendado. Éste es un dispositivo laser que permite medir distancia en un radio de 400 m a través de un visor. Junto con lo anterior, se deben incorporar otros materiales para el registro tales como: lápiz, block de notas, cámara fotográfica, y también grabador, en caso de que se necesite registrar alguna entrevista.

Por último, se estima conveniente obtener para el terreno material cartográfico donde se ubiquen las instalaciones a visitar. En caso de ser necesario, se debe contar con equipamiento de protección personal (guantes, botas, máscara), todo dependiendo del lugar que se visite.



Ejemplo de GPS y Range Finder

ANEXO 5: Información de Referencia sobre Evaluación de Riesgo a la Salud Humana

Estados Unidos es el país que posee más experiencia y desarrollo en relación a la Evaluación de Riesgo a la Salud. Dos de sus agencias destacan por la elaboración de manuales y aplicación de este procedimiento: la Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades (Agency for Toxic Substances and Disease Registry - ATSDR) y la Agencia de Protección Ambiental (United States Environmental Protection Agency - USEPA).

Las evaluaciones de la USEPA se usan en las decisiones de manejo de riesgos para establecer niveles de corrección; para reglamentar los niveles autorizados de emisión, almacenamiento y transporte de residuos peligrosos; y para determinar los niveles permitidos de contaminación ambiental. Las evaluaciones de salud propuestas por la ATSDR se usan para determinar las consecuencias de la contaminación ambiental y preparar recomendaciones para hacer seguimiento de las poblaciones afectadas.

A continuación se presenta un resumen de las metodologías que emplean estas agencias, señalando sus ámbitos de aplicación.

Evaluación de Riesgo de la Agencia de Protección Ambiental (EPA)
<http://www.epa.gov/risk/>

Su ámbito de aplicación está orientado a evaluar el riesgo a partir de una sustancia o agente, analiza sus características toxicológicas y de comportamiento ambiental en la exposición, con fines de controlar riesgos o efectos adversos que superan lo razonable (esperado). Las ventajas son:

1. Cuantitativa, hace cálculos numéricos del riesgo, usa modelos estadísticos y biológicos
2. Se basa en datos toxicológicos (dosis) y epidemiológicos (exposición)
3. Centrada primariamente en trabajar sobre el ambiente (dejando los aspectos derivados del daño en salud para metodologías)
4. Se orienta a controlar riesgos y efectos adversos exagerados o no razonables
5. Apunta a satisfacer exigencias normativas y reglamentarias.

A continuación, se listan las guías de mayor relevancia:

a. Acción Correctiva

Designación	Título
USEPA	USEPA, Elements for Effective Management Of Operating Pump And Treatment Systems. United States Environmental Protection Agency. Washington DC.

b. Gestión del Riesgo Ambiental

Designación	Título
USEPA, 9355.4-23, 19	Soil Screening guidance: User's Guide, United States Environmental Protection Agency.
EPA/540/R95/128, 1996	Soil Screening guidance: Technical Background Document, United States Environmental Protection Agency.
USEPA, 823-R-95-001, 1995	QA/QC Guidance For Sampling And Analysis Of Sediments, Water And Tissues For Dredged Material Evaluations, United States Environmental Protection Agency. Washington DC.
USEPA, 1992	Rcra Groundwater Monitoring: Draft Technical Guidance. United States Environmental Protection Agency. Washington DC.
USEPA, 2001	Laboratory Documentation Required For Data Evaluation. Quality Assurance Office. San Francisco, California.
USEPA 600/8-89/046, 1989	Soil Sampling Quality Assurance User's Guide, Second Edition. United States Environmental Protection Agency. Washington DC.
USEPA 540/R-95/140, 1995	Representative Sampling Guidance Volume 2: Air. United States Environmental Protection Agency. Washington DC.

c. Estado Real de Evaluación y Gestión

Designación	Título
EPA/630/R-95/001F, Apr 1998.	Guidelines for Neurotoxicity Risk Assessment .
EPA/630/R-96/009, Oct 1996	Guidelines for Reproductive Toxicity Risk Assessment.
EPA/600Z-92/001, May 1992.	Guidelines for Exposure Assessment.
EPA/600/FR-91/001, Dec 1991.	Soil Guidelines for Developmental Toxicity Risk Assessment.
EPA/600/8-87/045, Sep 1987.	Risk Assessment Guidelines of 1986.
EPA/630/R-98/002, Sep 1986.	Guidelines for Mutagenicity Risk Assessment U.S. EPA. 1986. Guidelines for the Health Risk Assessment of Chemical Mixtures (PDF) (38 pp, 299 Kb).
SUSEPA, 1989	"Risk Assessment Guidance for Superfund, Volume 1 - Human Health Evaluation Manual, Part A - Baseline Risk Assessment".
EPA/630/R-98/003, Sep 1986- 08	Guidelines for Mutagenicity Risk Assessment.

Evaluación de riesgo de la Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, ATSDR, 1992)

<http://www.atsdr.cdc.gov/es/>

El ámbito de aplicación de esta metodología es para el estudio de una situación de contaminación ambiental que puede generar riesgo para la salud. En este caso se parte de una situación presente de daño ambiental (sitio contaminado por ejemplo) y se estudia el riesgo para la salud de la población expuesta. En particular, la ATSRD inicia una investigación cuando se propone que un sitio contaminado ingrese al listado de prioridades nacionales de la EPA, cuando miembros de la comunidad, médicos o instituciones estatales le solicitan la evaluación de un lugar para declararlo contaminado o para su remediación.²⁸

Las características de esta evaluación de riesgo son:

1. El foco del estudio es un lugar específico donde habitualmente se aborda la evaluación de riesgos para la salud de un grupo de sustancias diversas presentes en ese lugar.
2. La metodología usa preferentemente instrumentos cualitativos (recopilación exhaustiva de datos, antecedentes, encuestas, muestras), el objetivo es evaluar el impacto actual o futuro para la salud de las personas por la presencia de sustancias peligrosas en ese lugar.
3. Es exigente en cuanto al muestreo, control de calidad y certificación de calidad.

4. Por ser fundamentalmente basado en datos cualitativos, depende del criterio profesional y técnico del evaluador.

5. Por ser aplicada a lugares específicos y precisos, solo pueden extrapolarse sus resultados si se cumplen las características principales del lugar estudiado, pudiendo así extrapolarse a otras realidades que sufren daños similares.

6. Es menos costosa que las metodologías EPA.

7. Orientado con un enfoque de salud pública, hace uso de los criterios y normas establecidos (nacionales o internacionales de referencia), sopesando las alternativas de manejo y control además de evaluar el riesgo para la salud.

8. Provee el siguiente tipo de recomendaciones:

- Medidas correctivas sobre el lugar (informe de factibilidad)
- Estudios epidemiológicos complementarios (estudios de salud adicionales)
- Programa de vigilancia epidemiológica
- Registro de enfermedades

28 ATSDR: Environmental data needed for public health assessments. A Guidance Manual. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta, Georgia. Guideline de Public Health Assessment ATSRD, 2007. ATSDR (1992). Health assessment guidance manual. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. US Department of Health & Human Services.

A continuación se listan las guías de mayor relevancia:

a. Acción Correctiva

Designación	Título
E1739 - 95(2010)e1	Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites.
E1912 - 98(2004)	Standard Guide for Accelerated Site Characterization for Confirmed or Suspected Petroleum Releases.
E1943 - 98(2010)	Standard Guide for Remediation of Ground Water by Natural Attenuation at Petroleum Release Sites.
E2081 - 00(2010)e1	Standard Guide for Risk-Based Corrective Action.
E2205 / E2205M - 02(2009)e1	Standard Guide for Risk-Based Corrective Action for Protection of Ecological Resources.
E2531 - 06e1	Standard Guide for Development of Conceptual Site Models and Remediation Strategies for Light Nonaqueous-Phase Liquids Released to the Subsurface.
E2616 - 09	Standard Guide for Remedy Selection Integrating Risk-Based Corrective Action and Non-Risk Considerations.
E2733 - 10	Standard Guide for Investigation of Equipment Problems and Releases for Petroleum Underground Storage Tank Systems.

b. Gestión del Riesgo Ambiental

Designación	Título
E1990 - 98(2005)	Standard Guide for Performing Evaluations of Underground Storage Tank Systems for Operational Conformance with 40 CFR, Part 280 Regulations.
E2107 - 06	Standard Practice for Environmental Regulatory Compliance Audits.
E2137 - 06(2011)	Standard Guide for Estimating Monetary Costs and Liabilities for Environmental Matters
E2173 - 07(2011)	Standard Guide for Disclosure of Environmental Liabilities.
E2318 - 03	Standard Guide for Environmental Health Site Assessment Process for Military Deployments.
E2365 - 05	Standard Guide for Environmental Compliance Performance Assessment.
E2718 - 10	Standard Guide for Financial Disclosures Attributed to Climate Change.
E2725 - 10	Standard Guide for Basic Assessment and Management of Greenhouse Gases.

c. Estado Real de Evaluación y Gestión

Designación	Título
D5746 - 98(2010)	Standard Classification of Environmental Condition of Property Area Types for Defense Base Closure and Realignment Facilities.
D6008 - 96(2005)	Standard Practice for Conducting Environmental Baseline Surveys.
E1527 - 05	Standard Practice for Environmental Site Assessments: Phase I Environmental Site Assessment Process.
E1528 - 06	Standard Practice for Limited Environmental Due Diligence: Transaction Screen Process.
E1903 - 11	Standard Practice for Environmental Site Assessments: Phase II Environmental Site Assessment Process.
E1984 - 03	Standard Guide for Process of Sustainable Brownfields Redevelopment.
E2018 - 08	Standard Guide for Property Condition Assessments: Baseline Property Condition Assessment Process.
E2247 - 08	Standard Practice for Environmental Site Assessments: Phase I Environmental Site Assessment Process for Forestland or Rural Property.



EQUIPO DE TRABAJO

División de Recursos Naturales, Residuos y Evaluación de Riesgos
MINISTERIO MEDIO AMBIENTE

Gerencia Agua y Medio Ambiente
FUNDACIÓN CHILE



Fundación Chile es uno de los principales Centros de Innovación del Continente, con 36 años de experiencia en el desarrollo de productos, tecnologías y servicios innovadores orientados tanto a la industria como al sector público en temáticas de: Biotecnología y Alimentos, Sustentabilidad, Digitalización y Capital Humano.





www.mma.gob.cl



www.corfo.cl



www.innovacionambiental.cl

