



EnSoil

SUBSECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE

Análisis de metodologías internacionales y determinación de contaminantes a normar en suelo

608897-70-LE20

INFORME FINAL

CAPÍTULO 1: ACTIVIDAD 1. REUNIÓN DE INICIO Y PRESENTACIÓN DEL
PLAN DE TRABAJO

Rev. 2

Abril 2021



Información del documento

Estudio	Análisis de metodologías internacionales y determinación de contaminantes a normar en suelo		
Mandante	Subsecretaría del Medio Ambiente		
ID licitación	608897-70-LE20	Código proyecto	P2003
Informe	Informe Final Capítulo 1	Versión	Rev2

Control de cambios

	Revisión 0	Revisión 1	Revisión 2
Elaborado por	Jorge Alcaíno Francisca Mihovilovic Ainhoa Goyeneche Paul Lorca Pilar Pantaleón Guillermo García Alfonso Álvarez Fernanda Carrasco	Jorge Alcaíno Francisca Mihovilovic Ainhoa Goyeneche Paul Lorca Pilar Pantaleón Guillermo García Alfonso Álvarez Fernanda Carrasco	Jorge Alcaíno Francisca Mihovilovic Ainhoa Goyeneche Paul Lorca Pilar Pantaleón Guillermo García Alfonso Álvarez Fernanda Carrasco
Fecha	15-03-2021	09-04-2021	23-04-2021
Revisado por	Alfonso Álvarez	Alfonso Álvarez	Alfonso Álvarez
Fecha	15-03-2021	12-04-2021	26-04-2021
Aprobado por	Jorge Alcaíno	Jorge Alcaíno	Jorge Alcaíno
Fecha	15-03-2021	13-04-2021	26-04-2021

EnSoil Ambiental SpA

Av. Apoquindo 6410 Of 605
Las Condes, Santiago
+56 9 8250 6380
www.ensoil.cl

Contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	4
1.1	ANTECEDENTES.....	4
2	OBJETIVOS Y ALCANCE.....	5
2.1	OBJETIVO GENERAL.....	5
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3	CONTENIDOS DEL INFORME	5
3.1	CAPÍTULO 1 (ESTE CAPÍTULO) – INTRODUCCIÓN Y ACTIVIDAD 1. REUNIÓN DE INICIO Y PRESENTACIÓN DEL PLAN DE TRABAJO	5
3.2	CAPÍTULO 2 – ACTIVIDAD 2. ANALIZAR METODOLOGÍAS INTERNACIONALES, DE REALIDADES COMPARABLES CON LA NACIONAL, EN ELABORACIÓN DE NORMA DE SUELO Y DETERMINACIÓN DE CONTAMINANTES A NORMAR	6
3.3	CAPÍTULO 3 – ACTIVIDAD 3. ANALIZAR COBERTURA NORMATIVA DE CONTAMINANTES DE INTERÉS Y POTENCIALES EFECTOS A LA SALUD HUMANA	6
3.4	CAPÍTULO 4 – IDENTIFICACIÓN DE CONTAMINANTES DE INTERÉS A NORMAR EN EL PAÍS, MEDIANTE UN ANÁLISIS DE VACÍOS, BRECHAS Y OPORTUNIDADES.....	7
4	EQUIPO PROFESIONAL.....	8
5	ANEXOS.....	11

1 Introducción

El presente informe corresponde al Informe Final del estudio “Análisis de metodologías internacionales y determinación de contaminantes a normar en suelo”, encargado por la Subsecretaría del Medio Ambiente mediante la licitación pública 608897-70-LE20.

1.1 Antecedentes

La autoridad ambiental en Chile lleva años trabajando en referencia a la contaminación de suelos, incluso previo a la conformación del Ministerio del Medio Ambiente (MMA). Dentro de los esfuerzos que se pueden destacar en el año 2009 se establece la “Política Nacional para la Gestión de Sitios con Presencia de Contaminantes” con un enfoque correctivo y territorial, bajo el cual se aborda esta problemática de manera integral (“Cuarto reporte del estado del medio ambiente”) y en el año 2011 el MMA mandata el estudio “Preparación de antecedentes para la elaboración de la norma de calidad primaria de suelos”, con el fin de analizar la posibilidad de normar la matriz ambiental de suelo y que sirvió de base para generar una guía metodológica en el año 2013.

En el año 2012, la reforma a la institucionalidad ambiental¹, introdujo el artículo 39 a la Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente (LBGMA), el cual señala “*La ley velará porque el uso del suelo se haga en forma racional, a fin de evitar su pérdida y degradación.*”, y en la misma línea incorpora como misión del MMA en el artículo 70 letra g) de la misma ley, la obligación de “*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, sin perjuicio de las atribuciones de otros organismos públicos en materia sanitaria.*”

Tal como se señala, en el año 2013 el MMA desarrolla la “Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes” (en adelante, Guía Metodológica), aprobada mediante Resolución Exenta N°406/2013, la cual tiene por objetivo definir los procedimientos técnicos para estandarizar la investigación de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes (SPPC) en el país, y su estructura se compone de tres fases:

- En la Fase I se realiza la identificación, priorización y jerarquización sistemática de los SPPC a escala regional, de manera de determinar hacia dónde concentrar los esfuerzos de investigación.
- En la Fase II se aborda el estudio del sitio en forma más detallada para efectuar una evaluación preliminar sitio-específica del riesgo.
- La Fase III considera la realización de una evaluación cuantitativa del riesgo, que consiste en un estudio del sitio a nivel detallado, y un plan de acción para su gestión, en caso de que se determine un nivel de riesgo no aceptable.

Se han desarrollado una serie de estudios utilizando la guía metodológica referida, la que ha resultado de gran utilidad para dar dirección tanto a la autoridad como a privados en el desarrollo de esta temática en Chile. Sin embargo, se constata también la necesidad de establecer un sistema integral de gestión de SPPC, para llenar vacíos de regulación y organización. Adicionalmente, existen aspectos técnicos que tampoco han sido clarificados, siendo uno de los más importantes la determinación de contaminantes a normar y sus límites para la protección de la salud en el contexto de una evaluación de SPPC.

¹ Ley 20.417

Se reconoce que otros países ya han vivido este proceso, algunos hace bastantes años, y poseen sistemas de gestión robustos en el manejo de esta problemática. Se ha estimado entonces provechoso recoger aspectos claves de metodologías utilizadas por otros países, con la finalidad de revisar su aplicabilidad en un sistema de gestión para el país. Adicionalmente, como parte de avanzar en esta temática, se estima vital establecer una primera aproximación a los contaminantes que debiesen ser normados y sus valores de referencia para la protección de la salud en vista a una futura norma primaria de suelos.

Se debe notar que este proyecto no pretende resolver todos los aspectos normativos y técnicos de un sistema de gestión de SPPC en Chile. Esto será un proceso bastante largo, que requerirá de una evaluación mucho más profunda y consultiva de la que se puede dar en el contexto del desarrollo de este proyecto. En particular, existen una serie de factores que no pueden ser abordados ya que corresponden al ámbito de dirección política y presupuestos, los que se encuentran fuera del alcance de esta consultoría.

No obstante lo anterior, se estima que la revisión del marco normativo y técnico de países avanzados en la temática estableciendo paralelos con la realidad chilena, además del establecer una primera aproximación hacia niveles de referencia son pasos clave para marcar un camino claro y poder avanzar en la resolución de esta temática de gran importancia para Chile.

2 Objetivos y alcance

2.1 Objetivo general

Analizar y determinar contaminantes de interés a normar en suelo, en relación a los potenciales efectos en la salud de las personas.

2.2 Objetivos específicos

- a) Analizar metodologías internacionales, de realidades comparables con la nacional, en elaboración de norma de suelo y determinación de contaminantes a normar.
- b) Analizar cobertura normativa de contaminantes de interés y potenciales efectos a la salud humana.
- c) Identificación de contaminantes de interés a normar en el país, mediante un análisis de vacíos, brechas y oportunidades.
- d) Difusión de los resultados del estudio.

3 Contenidos del informe

A continuación, se presenta la estructura del informe y sus contenidos por capítulo. Con la Intención de facilitar la lectura del informe, cada uno de los capítulos se estructuró como un informe. De esta manera, el presente informe tan solo contiene el Capítulo 1, además de los capítulos introductorios y la presentación del equipo de trabajo, el segundo informe contendrá el Capítulo 2 con la Actividad 2, el tercer informe el Capítulo 3 con la Actividad 3 y el cuarto informe Capítulo 4 con la Actividad 4 y Actividad 5. A continuación, se detalla el contenido de cada capítulo.

3.1 Capítulo 1 (este capítulo) – Introducción y Actividad 1. Reunión de inicio y presentación del plan de trabajo

Se presenta una introducción al estudio, el equipo profesional a cargo del estudio y la minuta de la *Actividad 1. Reunión de inicio y presentación del plan de trabajo* en el Anexo 1.

3.2 Capítulo 2 – Actividad 2. Analizar metodologías internacionales, de realidades comparables con la nacional, en elaboración de norma de suelo y determinación de contaminantes a normar

Esta actividad comprende las siguientes subactividades:

- **Actividad 2.1** Identificar los países con norma de suelo a analizar, detallando las metodologías usadas, los contaminantes normados y el proceso de implementación y fiscalización de la normativa. Se realiza una descripción de los aspectos normativos y técnicos para la gestión de suelos contaminados de países seleccionados.
- **Actividad 2.2** Elaborar criterios de comparabilidad entre los países y Chile, a fin de identificar los países que se acercan más a la realidad nacional. Se establecen criterios para realizar una comparativa entre los países seleccionados y Chile. Estos criterios están divididos en 3 grandes grupos:
 - Aspectos normativos
 - Aspectos técnicos
 - Geología
 - Actividades productivasPosteriormente, se realiza un resumen de cada uno de estos aspectos para cada país.
- **Actividad 2.3** Mediante los criterios definidos y una metodología de embudo, seleccionar los países más cercanos a la realidad nacional y los contaminantes de interés que podrían normarse en el país. Se evalúan los aspectos más relevantes con respecto a la realidad chilena y su potencial aplicabilidad realizando una recomendación en este respecto.
- **Actividad 2.4** Reunión virtual de avance con contraparte técnica.

3.3 Capítulo 3 – Actividad 3. Analizar cobertura normativa de contaminantes de interés y potenciales efectos a la salud humana

- **Actividad 3.1** Revisión y análisis de eventos de contaminación asociados a la matriz suelo con daño a la salud humana ocurridos a nivel nacional, identificando contaminantes de interés. Se realiza revisión de eventos de contaminación notables ocurridos en Chile y se detallan contaminantes de interés de estos.
- **Actividad 3.2** Identificación de normativa nacional existente para los contaminantes de interés seleccionados u otros de relevancia identificados y relevados por la contraparte técnica, indistintamente de la matriz ambiental normada, a fin de analizar cobertura normativa de los contaminantes. Se identifican instrumentos regulatorios existentes y se indican contaminantes relevantes para la matriz suelo.
- **Actividad 3.3** Analizar y detallar efectos a la salud de los contaminantes de interés estudiados, poniendo énfasis en la cobertura normativa existente y a los potenciales efectos a la salud humana en rutas de exposición por matrices ambientales. En el caso de contaminantes donde no existe norma, analizar los efectos a la salud con relevancia de aquellos asociados a la matriz suelo. Se identifican y seleccionan los contaminantes prioritarios a normar en suelos y se detallan sus efectos a la salud.

- **Actividad 3.4** Presentación de los resultados a la contraparte técnica en reunión virtual posterior a la entrega del informe, pero previo a la entrega de las observaciones.

3.4 Capítulo 4 – Identificación de contaminantes de interés a normar en el país, mediante un análisis de vacíos, brechas y oportunidades

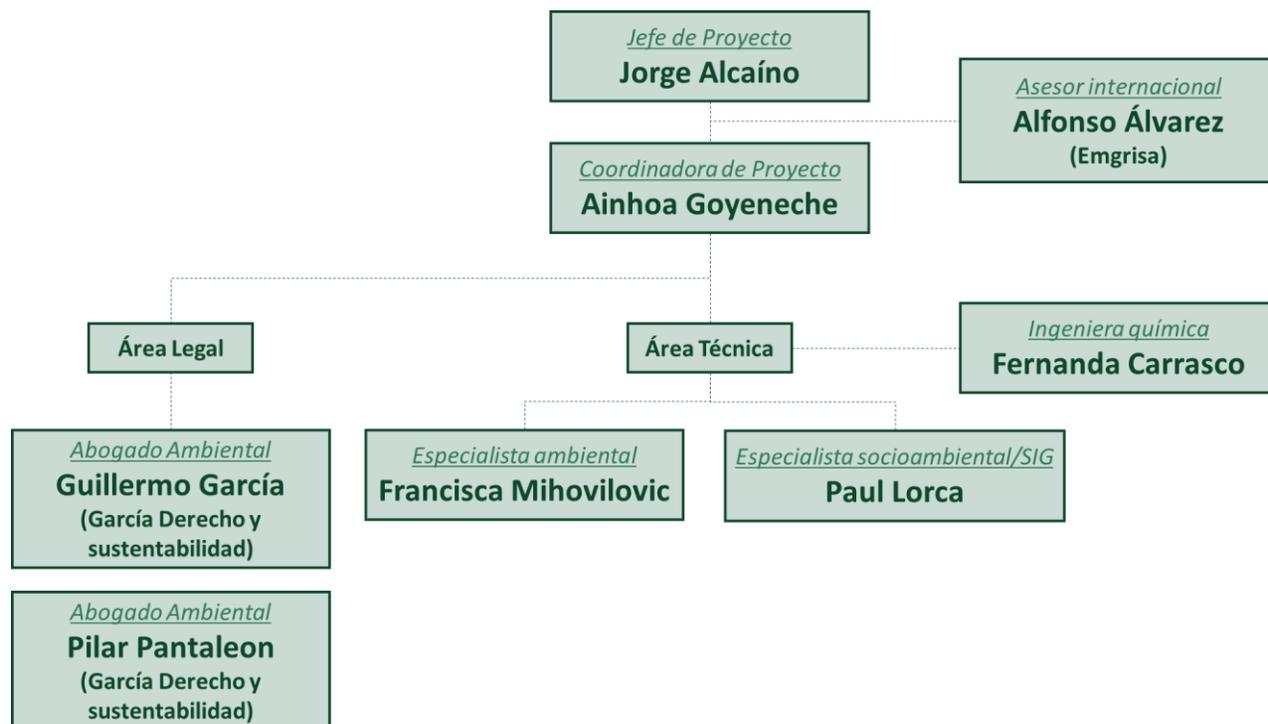
- **Actividad 4.1** Realizar un análisis de vacíos, brechas y oportunidades de normar contaminantes en base al análisis realizado previamente, seleccionando y justificando los contaminantes a normar en el caso de una norma primaria de calidad de suelo, y analizando los probables valores objetivos en función de los efectos a la salud de las personas.

Para una mejor comprensión del trabajo realizado, la actividad de la selección de los contaminantes a normar se trasladó al Capítulo 3, dejando en el Capítulo 4 el análisis de vacíos brechas y oportunidades sobre la normativa chilena y sistema de gestión de suelos contaminados, y el cálculo de los valores objetivo.

- **Actividad 5** Difusión de los resultados del estudio, mediante la entrega del presente informe final, la elaboración de un tríptico de difusión y la presentación de los resultados a la contraparte técnica.

4 Equipo profesional

A continuación, se presenta el organigrama con el que se trabajó durante la ejecución del proyecto, donde se puede observar los cargos de los de los distintos profesionales del equipo. Además, se presenta una explicación de funciones de cada cargo y una breve reseña de los participantes del proyecto y su formación.



Cargo	Miembro equipo	Función Principal
Jefe de Proyecto	Jorge Alcaíno	Contacto principal con el MMA, responsable del cumplimiento contractual del servicio y acuerdos establecidos, disposición de recursos y validación de los informes de estudio entregados, entre otros.
Asesor Internacional	Alfonso Álvarez	Responsable de revisar informes y asesorar sobre la experiencia normativas internacionales especialmente dentro del contexto español. Colaborar en la definición de estrategias y lineamientos.
Coordinadora de proyecto	Ainhoa Goyeneche	Responsable del cumplimiento del programa de proyecto, comunicación, coordinación de subcontratos y otros requeridos para la realización del proyecto. Realizar seguimiento técnico, supervisión, asesoría técnica, planificación y revisión de los informes.
Especialistas	Francisca Mihovilovic / Paul Lorca / Fernanda Carrasco	Paul Lorca: SIG, aspectos socioambientales y mecanismos en sector público. Francisca Mihovilovic: Bases científicas de evaluación de riesgo y manejo de datos ambientales.

		Fernanda Carrasco: QA/QC de datos ambientales, revisión de metodologías técnicas ambientales de análisis. Todos: Levantamiento de información, análisis y redacción de informes.
Asesores Legales	Guillermo García / Pilar Pantaleon	Revisión de antecedentes legales, marco normativo y definición de estrategias y lineamientos. Asesoría legal general en ámbito ambiental además de implicaciones de normativa primaria de suelo en Chile, fiscalización e implementación.

Jorge Alcaíno -- Jefe de Proyecto

Ingeniero Ambiental y MSc en Ciencias del Medio Ambiente (Universidad de Sydney, Australia), chileno-australiano, bilingüe, con más de 11 años de experiencia (7 de estos en Australia) como jefe de proyectos de evaluación y remediación de sitios contaminados además de evaluaciones de riesgo a la salud. Vasta experiencia en sitios impactados con metales e hidrocarburos tanto en el comportamiento de los contaminantes en agua y suelo, como en técnicas de muestreo y remediación in-situ y ex-situ. Ha trabajado con clientes privados (minerías, generadores de energía, inmobiliarias) y públicos (Ministerio del Medio Ambiente de Chile, Estado de Queensland de Australia). Habilidades comprobadas en Project Management (manejo de presupuestos, personal y tareas en terreno), hidrogeoquímica, diseño y evaluación de investigaciones ambientales, evaluación de riesgos, calidad de agua y suelos, sitios contaminados, legislación ambiental, remediación ambiental y Sistemas de Información Geográficos (ArcGIS, QGIS). Acreditado como Científico del Suelo Profesional Certificado (Certified Professional Soil Scientist) por Soil Science Australia durante los años 2010-2015 (actividad en Australia).

Alfonso Álvarez – Asesor internacional

Ingeniero de Minas, por la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Además, tiene formación como especialista en Planificación y Administración de Empresas y **diplomado en Evaluación de Impacto Ambiental** por la UPM, y ha realizado un PADE (Programa Avanzado de Dirección de Empresas) impartido por la Fundación SEPI. Tiene más de 25 años de experiencia profesional en proyectos relacionados con medio ambiente industrial, gestión de residuos industriales, descontaminación de suelos y aguas, análisis de riesgos medioambientales, recuperación de zonas degradadas, etc. En la actualidad, Alfonso Álvarez es Director de Operaciones y Tecnología en Emgrisa, cuya actividad se desarrolla en el ámbito de consultoría en gestión ambiental para la industria, asistencia técnica ambiental a industrias y la caracterización y descontaminación de suelos y aguas contaminadas, gestión de residuos industriales y desarrollo de ingeniería en medioambiente industrial, así como en el apoyo a las Administraciones en materia de gestión de residuos y suelos contaminados. Fue el responsable del desarrollo y operación de las sucursales de Emgrisa en Perú y Chile, participando activamente en proyectos de ambos países. Tiene experiencia en proyectos de gran envergadura, tanto para el sector público como privado, en diferentes sectores, como son Oil&Gas (Repsol, Cepsa, BP, Shell Total, Agip, Galp, Conoco, entre otros), Infraestructuras ferroviarias, aeroportuarias y portuarias, Farmacéutico, Defensa, Petroquímico, Siderúrgico, etc.,

Ha realizado asistencias técnicas a la Administración General del Estado, en materia de gestión de residuos y suelos contaminados: Ministerio de Transición Ecológica, Ministerio de Agricultura, Ministerio de Defensa.

Además, participó en el comité de expertos para la redacción de la directiva europea para la gestión de suelos contaminados, por parte del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España.

Es docente en varios Masters profesionales en Universidades españolas en materia de gestión ambiental, gestión de residuos, suelos contaminados, etc.

Ainhoa Goyeneche – Coordinadora de proyecto

Geóloga (Universidad de Salamanca) con especialización en **Hidrogeología** (Universidad Politécnica de Cataluña) y 6 años de experiencia en realización de estudios en sitios contaminados. Recopilación de antecedentes, visitas in situ de sitios contaminados, identificación de fuentes de contaminación y definición de RECs (Fase I). Modelos conceptuales de contaminación, diseño y ejecución de campañas de terreno, control de perforación y muestreo de suelos y aguas. Comparación de los datos obtenidos con distintas normativas (Holanda, Canadá, EPA, España) (Fase II). Evaluación de riesgo a las personas con el software RBCA Tool Kit for Chemical Releases V.2.6 (2011) (Fase III). Desarrollo de estudios de caracterización Hidrogeológica de cuencas. Conocimiento de GIS y Excel, RBCA, entre otros.

Francisca Mihovilovic – Especialista Ambiental

Ingeniera Civil Ambiental (Pontificia Universidad Católica) con 3 años de experiencia en realización de estudios en sitios contaminados: catastro, priorización y jerarquización de sitios activos con potencial presencia de contaminantes (Fase I); realización de modelos conceptuales de contaminación, ejecución de campañas de terreno (muestreo de suelos y aguas), análisis de resultados y comparación con normativas internacionales (Fases II); realización de evaluaciones de riesgo a la salud de las personas para sitios abandonados contaminados, utilizando el software RBCA Tool Kit (Fase III); y evaluación técnico-económica de alternativas de remediación de suelos.

Fernanda Carrasco Soto –Ingeniera Química

Ingeniera de Ejecución en Química (Universidad de Santiago de Chile) y **Técnico Universitario en Análisis Químico y Físico**. Cuenta con 8 años de experiencia en análisis físico-químico de suelo y agua. Ha trabajado principalmente en análisis instrumental y analítico, planificación y coordinación de campañas de terreno, supervisión de personal y administración de laboratorio.

Paul Lorca – Especialista sociambiental/GIS

Geógrafo con **Magister en estudios Socioambientales** con 15 años de experiencia en plataformas públicas, privadas y de cooperación internacional para el desarrollo en Chile, Ecuador, Colombia y El Salvador.

Su experiencia se ha centrado en la formulación y coordinación de proyectos multidisciplinarios en áreas de medio ambiente, medio humano, gestión del riesgo, a través de análisis territoriales, estudio de matrices agua, suelo y aire, y evaluación de impactos ambientales.

Guillermo García – Abogado Ambiental

Abogado, Pontificia Universidad Católica de Chile; LL.M. in Environmental Law and Policy (**Master en Derecho y Política Ambiental**), University College London) cuenta con más de 10 años de experiencia profesional, tanto pública como privada. En el sector público, se desempeñó en el Gabinete del Ministerio del Medio Ambiente

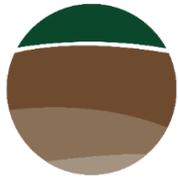
(2010-2011) y, durante 2019, con apoyo del Banco Interamericano del Desarrollo, asesoró al Ministerio de Hacienda en materias de cambio climático, participando en las actividades de la Coalición de Ministros de Hacienda para el Cambio Climático, directorios del Fondo Verde del Clima y la COP25. Por su parte, en el sector privado, inició su ejercicio profesional en el proyecto Centrales Hidroeléctricas de Aysén (2009-2010) y luego se desempeñó por más de 8 años en el área de Energía, Medio Ambiente y Recursos Naturales de Barros & Errázuriz Abogados (2011-2019), donde concentró su práctica en materias que van desde la asesoría corporativa ambiental y regulatoria hasta la defensa judicial y administrativa de proyectos de inversión, entre otras materias. Además, desarrolló pasantías en Clifford Chance LLP (Londres, Reino Unido) y Miranda y Amado Abogados (Lima, Perú)

Pilar Pantaleon Collazo – Abogada Ambiental

Abogada de la Pontificia Universidad Católica de Chile, **Magíster en Arquitectura, mención Ciudad y Territorio** de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso y **Diplomado de Derecho Ambiental** de la Universidad de Chile. Ha realizado asesoría legal en el desarrollo de los estudios de impacto ambiental, declaraciones de impacto ambiental o consultas de pertinencia desde un componente formal a aquellos de carácter específico. También ha participado en procesos de auditoría y asesoría ambiental permanente, gestión y obtención de permisos sectoriales, análisis territorial y estudios de título y ha participado de procesos sancionatorios y programas de cumplimiento ante la Superintendencia del Medio Ambiente.

5 Anexos

Anexo 1 - Minuta reunión de inicio



EnSoil

SUBSECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE

Análisis de metodologías internacionales y determinación de contaminantes a normar en suelo

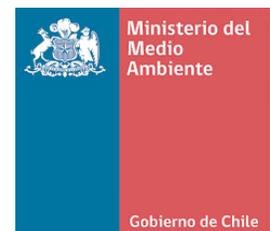
608897-70-LE20

INFORME FINAL

CAPÍTULO 2: ACTIVIDAD 2. ANALIZAR METODOLOGÍAS
INTERNACIONALES, DE REALIDADES COMPARABLES CON LA NACIONAL,
EN ELABORACIÓN DE NORMA DE SUELO Y DETERMINACIÓN DE
CONTAMINANTES A NORMAR

Rev. 2

Abril 2021



Información del documento

Estudio	Análisis de metodologías internacionales y determinación de contaminantes a normar en suelo		
Mandante	Subsecretaría del Medio Ambiente		
ID licitación	608897-70-LE20	Código proyecto	P2003
Informe	Informe Final Capítulo 2	Versión	Rev2

Control de cambios

	Revisión 0	Revisión 1	Revisión 2
Elaborado por	Jorge Alcaíno Francisca Mihovilovic Ainhoa Goyeneche Paul Lorca Pilar Pantaleón Guillermo García Alfonso Álvarez Fernanda Carrasco	Jorge Alcaíno Francisca Mihovilovic Ainhoa Goyeneche Paul Lorca Pilar Pantaleón Guillermo García Alfonso Álvarez Fernanda Carrasco	Jorge Alcaíno Francisca Mihovilovic Ainhoa Goyeneche Paul Lorca Pilar Pantaleón Guillermo García Alfonso Álvarez Fernanda Carrasco
Fecha	14-03-2021	12-04-2021	23-04-2021
Revisado por	Alfonso Álvarez	Alfonso Álvarez	Alfonso Álvarez
Fecha	15-03-2021	13-04-2021	26-04-2021
Aprobado por	Jorge Alcaíno	Jorge Alcaíno	Jorge Alcaíno
Fecha	15-03-2021	13-04-2021	26-04-2021

EnSoil Ambiental SpA

Av. Apoquindo 6410 Of 605
Las Condes, Santiago
+56 9 8250 6380
www.ensoil.cl

Contenido

1	ACTIVIDAD 2.1 IDENTIFICAR LOS PAÍSES CON NORMA DE SUELO A ANALIZAR, DETALLANDO LAS METODOLOGÍAS USADAS, LOS CONTAMINANTES NORMADOS Y EL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN Y FISCALIZACIÓN DE LA NORMATIVA	6
1.1	ALEMANIA	12
1.1.1	Marco normativo nacional.....	13
1.1.2	Requerimientos técnicos para una investigación de sitio contaminado	14
1.1.3	Niveles de referencia y contaminantes de interés.....	17
1.1.4	Muestreo	19
1.2	AUSTRALIA.....	20
1.2.1	Marco normativo nacional.....	20
1.2.2	Norma estatal (Queensland).....	21
1.2.3	Requerimientos técnicos para una investigación de sitio contaminado	25
1.2.4	Niveles de referencia y contaminantes de interés.....	29
1.3	BRASIL.....	37
1.3.1	Marco normativo nacional.....	38
1.3.2	Requerimientos técnicos para una investigación de sitio contaminado	40
1.3.3	Muestreo	42
1.3.4	Niveles de referencia	42
1.3.5	Evaluación de riesgos a la salud - Human Health Risk Assessment (HHRA)	43
1.4	CANADÁ.....	44
1.4.1	Marco normativo nacional.....	44
1.4.2	Requerimientos técnicos para una investigación de sitio contaminado	45
1.4.3	Muestreo	48
1.4.4	Niveles de referencia	48
1.4.5	Evaluación de riesgos a la salud - Human Health Risk Assessment (HHRA)	49
1.5	ESPAÑA A NIVEL ESTATAL	50
1.5.1	Marco Normativo.....	50
1.5.2	Requerimientos técnicos para investigación de sitio contaminado.....	52
1.5.3	Niveles de referencia y contaminantes de interés.....	53
1.6	PAÍS VASCO (COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ESPAÑA).....	55
1.6.1	Marco Normativo.....	55
1.6.2	Requerimientos para investigación de sitio contaminado	57
1.6.3	Niveles de referencia y contaminantes de interés.....	59
1.7	ANDALUCÍA (COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ESPAÑA).....	60
1.7.1	Marco Normativo.....	60
1.7.2	Entidad Fiscalizadora	62
1.7.3	Sistema de gestión	63
1.7.4	Requerimientos para investigación de sitio contaminado	64
1.7.5	Niveles genéricos de referencia	65
1.8	MÉXICO	66
1.9	ESTADOS UNIDOS.....	70
1.9.1	Marco normativo nacional.....	70
1.9.2	Requerimientos técnicos para una investigación de sitio contaminado	70
1.9.3	Niveles de referencia	75

1.9.4	Evaluación de riesgos a la salud - Human Health Risk Assessment (HHRA)	77
1.10	PAÍSES BAJOS (HOLANDA)	80
1.10.1	Marco normativo nacional.....	80
1.10.2	Requerimientos técnicos para una investigación de suelos.....	81
1.10.3	Niveles de referencia y contaminantes de interés.....	83
1.11	ITALIA	86
1.11.1	Marco normativo nacional.....	86
1.11.2	Niveles de Referencia	88
1.12	ASPECTOS GEOGRÁFICOS, GEOLÓGICOS, SOCIALES, ECONÓMICOS Y POLÍTICOS	90
1.12.1	Aspectos geológicos y geográficos.....	90
1.12.2	Aspectos sociales, económicos y políticos	91
1.13	CONCLUSIONES DE LA EVALUACIÓN DE NORMATIVAS AMBIENTALES.....	92
2	ACTIVIDAD 2.2 ELABORAR CRITERIOS DE COMPARABILIDAD ENTRE LOS PAÍSES Y CHILE, A FIN DE IDENTIFICAR LOS PAÍSES QUE SE ACERCAN MÁS A LA REALIDAD NACIONAL.....	94
2.1	ASPECTOS NORMATIVOS Y DE GESTIÓN.....	95
2.1.1	Normativo nacional.....	95
2.1.2	Normativo estatal/regional.....	95
2.1.3	Entidad fiscalizadora.....	95
2.1.4	Gestión.....	95
2.1.5	Requerimiento para inicio de proceso de investigación	95
2.2	ASPECTOS TÉCNICOS Y METODOLÓGICOS	95
2.2.1	Fase I.....	95
2.2.2	Fase II.....	95
2.2.3	Remediación	95
2.2.4	Muestreo	95
2.2.5	Niveles de referencia	95
2.2.6	Otros.....	96
2.3	FACTORES NATURALES, SOCIALES Y ECONÓMICOS	96
2.4	SITUACIÓN ACTUAL EN CHILE CON RESPECTO A LOS ASPECTOS EVALUADOS.....	96
2.4.1	Aspectos normativos	96
2.4.2	Requerimientos técnicos	106
2.4.3	Aspectos geográficos, geológicos, sociales, económicos y políticos	107
2.5	COMPARACIÓN DE ASPECTOS NORMATIVOS PARA GESTIÓN DE SITIOS O SUELOS CONTAMINADOS (ANEXO 2) 108	
2.6	COMPARACIÓN DE REQUERIMIENTOS TÉCNICOS Y OTROS EN NORMATIVAS (ANEXO 2)	113
3	ACTIVIDAD 2.3 MEDIANTE LOS CRITERIOS DEFINIDOS Y UNA METODOLOGÍA DE EMBUDO, SELECCIONAR LOS PAÍSES MÁS CERCANOS A LA REALIDAD NACIONAL Y LOS CONTAMINANTES DE INTERÉS QUE PODRÍAN NORMATARSE EN EL PAÍS	119
3.1	DESCRIPCIÓN DE DESAFÍOS PARA CHILE Y ASPECTOS VALORABLES DE PAÍSES ESTUDIADOS	119
3.1.1	Aspectos normativos	119
3.1.2	Requerimientos técnicos	122
3.1.3	Contaminantes a normar, niveles de referencia y uso de biodisponibilidad	124
4	CONCLUSIONES.....	125

5 ACTIVIDAD 2.4 REUNIÓN DE AVANCE 127

Tablas

Tabla 1 - Profundidad de muestreo para diferentes usos de suelo	20
Tabla 2 - Número mínimo de puntos de muestreo requeridos bajo estándar australiano	27
Tabla 3 - Rutas de exposición consideradas.....	54
Tabla 4 - Valores umbrales considerados	54

Figuras

Figura 1 - Esquema de gestión de la norma alemana	13
Figura 2 - Fases en la investigación y remediación de un sitio contaminado bajo legislación alemana.....	15
Figura 3 - Etapas descritas bajo normativa	24
Figura 4 - Fases en la investigación y remediación de un sitio contaminado bajo legislación australiana.....	26
Figura 5 - Proceso de Evaluación de riesgos	36
Figura 6 - Esquema de gestión de la norma brasileña	38
Figura 7 - Fases en la investigación y remediación de un sitio contaminado bajo legislación brasileña	41
Figura 8 - Fases en la investigación y remediación de un sitio contaminado bajo legislación canadiense.	46
Figura 9 - Ejemplo de estándar numérico de matriz.....	49
Figura 10 - Esquema de funcionamiento del Real Decreto 9/2005	50
Figura 11 - Fases en la investigación y remediación de un sitio contaminado bajo legislación española	53
Figura 12 - Requerimientos técnicos de la norma de Andalucía.....	65
Figura 13 - Diagrama general de muestreo para la caracterización de un sitio contaminado	69
Figura 14 - Requerimientos de estudio de cada una de las fases	72
Figura 15 - Guía de Referencia Resumida del Proceso de Evaluación y Remediación	73
Figura 16 - Metodología de la evaluación del riesgo ambiental	77
Figura 17 - Calculo de riesgos por ingestión	78
Figura 18 - Esquema de funcionamiento de la Circular 2013	83
Figura 19 - Esquema de la normativa Italiana de Medio Ambiente	87
Figura 20 - Esquema de procedimiento de los estudios de suelos	88
Figura 21 - Rio Tinto.....	90
Figura 22 - Normas de calidad ambiental	104
Figura 23 - Estructura de una Norma de Calidad Primaria.....	104

Anexos

- Anexo 1 - Valores de referencia de los distintos países analizados
- Anexo 2 - Comparación aspectos normativos y técnicos (tablas Excel de puntos 2.5 y 2.6)

1 Actividad 2.1 Identificar los países con norma de suelo a analizar, detallando las metodologías usadas, los contaminantes normados y el proceso de implementación y fiscalización de la normativa

Sin perjuicio de que han transcurrido más de tres décadas desde que el derecho ambiental internacional fue capaz de permear las legislaciones de la gran mayoría de países, el componente suelo ha sido uno de los cuales ha resultado más complejo y lento de normar.

Los motivos de esta situación radican principalmente en que los efectos de la contaminación de suelos resultan no ser de tan evidentes, sino que corresponden a perjuicios que generalmente se pueden apreciar en un largo plazo. Otra de las razones de la demora en la regulación ambiental del componente suelo la podemos ver en el hecho de la importancia que tiene el suelo para cada nación, estando presente este tipo de regulaciones en aquellos países en donde el desarrollo industrial y económico recae en el suelo.

Por último, se ha podido observar también que la carencia o tardía regulación respecto a la contaminación de suelos responde a una percepción de que su definición y aplicación suponen costos muy elevados y no esperados por los Estados y la industria.

Fijar criterios de evaluación y procesos de gestión administrativa y técnica, es un reto para cualquier país, dado que se debe normar sobre un vector ambiental (el suelo), cuyos efectos, como comentamos previamente, no suelen ser a corto plazo ni evidentes, sin perjuicio de que sí pueden llegar a ser muy graves y con consecuencias a muy largo plazo.

La complejidad en normar este componente la podemos ver reflejada en el hecho de que hasta la fecha la Unión Europea no ha sido capaz de aprobar la Directiva Europea de Suelos, pese a que su discusión ha consumido años de trabajo y esfuerzos, al no haber podido llegar a unos mínimos criterios de consenso entre los países miembros de la Unión Europea. Esto ha generado que en cada país de la Unión Europea exista una legislación particular, con una estructura administrativa y de gobernanza diferente, muy distinto a lo que ocurre con otros componentes y/o vectores tales como el agua (Directiva Marco del Agua), residuos (Directiva marco de residuos) o aire (Directiva 2008/50/CE, Directiva 2004/107/CE o la Directiva 2015/1480/CE).

En este apartado analizaremos las normativas de contaminación de suelo de mayor relevancia a nivel mundial, para evaluar su replicabilidad o adecuación al marco normativo chileno, revisando los principales aspectos de las mismas, las cuales consisten básicamente en: la organización de competencias sobre calidad de suelos, los procedimientos utilizados y las figuras legales establecidas para la gestión administrativa de los mismos, la definición en cada caso de suelo contaminado, los criterios de evaluación o niveles de referencia utilizados para distintos contaminantes, la relación legal que se establece en cada país con otros vectores ambientales, tales como el agua, el desarrollo de normas técnicas para definir, por ejemplo, cómo se debe desarrollar una caracterización de suelos, una valoración de riesgos, un proceso de remediación, etc.

En este análisis hemos tenido especial atención al hecho de que cada marco normativo tiene sus particularidades, los cuales responden a distintos factores geológicos/geoquímicos, a sus industrias y nivel de desarrollo de las mismas, a su estructura social, a su marco legal, a su organización política y territorial, y a los recursos públicos y privados empleados en la gestión de los suelos contaminados.

También ha sido relevante para este análisis la flexibilidad que tienen las distintas normativas de contaminación de suelo, en especial sus cualidades de adaptación a la evolución de la actividad industrial, y

por ende que consideren distintas formas y/ o vías en que el suelo puede ser contaminado. Sumado a ello, se ha tenido en consideración los sistemas de evaluación de impacto ambiental de cada país, se han analizado los documentos asociados a esta gestión, normas técnicas, reglamentos, guías, etc. En este último caso, la revisión varió según la disponibilidad de estos documentos para ser revisados.

Países incluidos para la revisión

En virtud de lo señalado, se ha seleccionado una serie de países que responden a condiciones y características diferentes entre sí, por lo que no se ha pretendido realizar un análisis exhaustivo de todos los países con normativa específica en materia de suelos contaminados, sino que se han seleccionado aquellos que por su desarrollo, experiencia y/o similitudes (ej. marco normativo, industrias primarias) con Chile podrían tener una mayor relevancia en el contexto del presente estudio, los cuales corresponden a los siguientes: Alemania, Australia, Brasil, Canadá, España, México, Estados Unidos, Países Bajos, Italia.

Un elemento relevante y determinante para la selección de los países mencionados han sido las normas de referencia que Chile utiliza en la evaluación ambiental ante la ausencia de normativa nacional, y que se encuentra contenida en el D.S 40/2012 del Ministerio del Medio Ambiente que aprueba el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (RSEIA). De dicho catálogo de países, se seleccionó aquellas normativas con un desarrollo acabado de la norma; como así también aquellas normas con aproximaciones diferentes en cuanto a la definición de factores para el cálculo específico de valores de referencia, sin perjuicio de que en la mayoría de los casos se considera una metodología basada en riesgo.

Los países seleccionados se presentan a continuación:

País	Estado/Provincia/Comunidad	Motivo de su inclusión
Alemania	-	Se encontró que poseía una normativa clara y concisa en cuanto a aspectos normativos, además que considera el uso de métodos para lixiviación.
Australia	Estado de Queensland	Australia posee una metodología técnica robusta y muy detallada, con documentos que explican la derivación de factores y razonamiento detrás de estos. En cuanto al Estado de Queensland, este se eligió dado que es uno de los últimos estados en realizar cambios a su normativa, tomando aspectos positivos de los otros estados y optimizando otros. Además, es posible encontrarla como normativa de referencia en la mayoría de los estudios de suelos con potencial presencia de contaminantes realizados en Chile.
Brasil	Estado de Sao Paulo	Se incluyó para considerar algún país de la región y en específico al Estado de Sao Paulo por encontrarse la mayor cantidad de información disponible. Además, es posible encontrarla como normativa de referencia en la mayoría de los estudios de suelos con potencial presencia de contaminantes realizados en Chile.
Canadá	Provincia de British Columbia	Canadá posee una metodología técnica robusta y muy detallada, que considera una multitud de enfoques en

País	Estado/Provincia/Comunidad	Motivo de su inclusión
		cuanto a los niveles de referencia, además del mayor número de escenarios de exposición. En cuanto a la Provincia de British Columbia, se eligió dada la cantidad de documentos disponibles. Además, es posible encontrarla como normativa de referencia en la mayoría de los estudios de suelos con potencial presencia de contaminantes realizados en Chile.
España	País Vasco (Comunidad autónoma)	Se incluyo España y en especial el País Vasco, ya que muchos aspectos de la Guía Metodológica para la Gestión de SPPCs se tomaron de esta normativa. Además, es posible encontrarla como normativa de referencia en la mayoría de los estudios de suelos con potencial presencia de contaminantes realizados en Chile.
	Andalucía (Comunidad autónoma)	Se incluyó adicionalmente Andalucía dada la mineralización que existe en la región, que puede ser comparable con la existente en el norte de Chile.
México	-	Se incluyó para considerar algún país de la región donde existiese normativa. Además, es posible encontrarla como normativa de referencia en la mayoría de los estudios de suelos con potencial presencia de contaminantes realizados en Chile.
Estados Unidos	Estado de California	Las bases fundamentales de la evaluación de riesgo y metodologías de definición de valores de referencia fueron inicialmente derivadas por la USEPA, y se han mantenido a la vanguardia en este tema, por lo que este país es el más relevante en este respecto. En cuanto al Estado de California, se eligió este dada la disponibilidad de documentos y por la mineralización de arsénico en parte de su territorio similar al norte de Chile.
Países Bajos	-	La normativa de los Países Bajos en cuanto a suelo es una de las más antiguas y considera la protección a la función del suelo incluyendo en sus metodologías el uso de parámetros del suelo como textura y materia orgánica. Además, es posible encontrarla como normativa de referencia en varios de los estudios de suelos con potencial presencia de contaminantes realizados en Chile.
Italia	-	Se incluyó para dar mayor variedad a la revisión de manera exploratoria, y dado que se ha referenciado en EIAs realizadas en Chile.

Existen naciones que presentan regulación en materia de suelos, pero han sido descartadas del presente estudio, en parte porque en Chile no han sido empleadas como normas de referencia en las evaluaciones ambientales, como así también por su similitud con normas ya revisadas o bien por su ineficacia práctica o deficiencia en contenido.

Así podemos observar que en el caso de Suiza es muy similar a otras normativas en especial a la alemana. En este país a que la regulación principal en materia de suelos viene dada por la Ley Federal de Protección Ambiental (Federal Environmental Protection Act – EPA) y la Ordenanza sobre remediación de sitios contaminados de 1998 (Ordinance on the Remediation of Polluted Sites – CSO).

La regulación suiza distingue entre sitios con polución y sitios contaminados. Los primeros se refieren a si el suelo está probablemente contaminado y, los segundos, a si el sitio en cuestión presenta una amenaza a las aguas subterráneas, superficiales, fertilidad de los suelos y otros; debiendo ser remediado. La regulación que gatilla la remediación viene dada por la CSO.

Los pasos a seguir en relación con la investigación posterior remediación se encuentran en la CSO y son, en lo principal:

- El registro del sitio en un inventario;
- La evaluación de la necesidad de monitoreo y remediación por medio de una investigación;
- La evaluación de los objetivos y la urgencia de la remediación;
- El monitoreo de la remediación.

Finalmente, cabe señalar que, por regla general, el dueño u operador de los sitios debe realizar la investigación, monitoreo y remediación en sí, aunque los costos de dichas actividades puedan ser divididos entre todos los responsables de la contaminación.

En el caso de la regulación de Nueva Zelanda, ésta es prácticamente idéntica a la australiana, la que se desarrolla en extenso, por lo que no se presenta un análisis detallado. Sin perjuicio de ello, se presentan sus principales características a continuación:

- La regulación principal de Nueva Zelanda en la materia viene dada por la Ley de Gestión de Recursos (Resource Management Act – RMA). En ella, se define sitio contaminado como aquella tierra que tiene una sustancia peligrosa en sí, o bien, tiene efectos significativos adversos sobre el medio ambiente, o, razonablemente, es probable que pueda tener dichos efectos.
- El Ministerio del Medio Ambiente es la autoridad a cargo de la materia, habiendo creado un Estándar Nacional Medioambiental (National Environmental Standard for Assessing and Managing Contaminants in Soil to Protect Human Health – NESCS) y guías para la administración de las tierras contaminadas en Nueva Zelanda. Sin perjuicio de la actividad del Ministerio del Medio Ambiente, quienes hacen cumplir dichas regulaciones son los Consejos Regionales y autoridades locales, quienes tienen a su cargo las funciones día a día en dicha administración.

En el caso de Argentina, su incorporación ha sido descartada en cuanto a que su regulación es aún más precaria que en Chile, enfocada principalmente a materia agroalimentaria. Sin perjuicio de ello, cuenta con el Programa para la Gestión Integral de Sitios Contaminados (PROSICO), creado por Resolución SAyDS 515/06, el cual responde a la Ley General del Ambiente (ley 25.675), la cual dispone en el art. 2 inciso K) que la política

ambiental nacional deberá establecer procedimientos y mecanismos adecuados para la minimización de riesgos ambientales, para la prevención y mitigación de emergencias ambientales y para la recomposición de los daños causados por la contaminación ambiental. Pero PROSICO es un programa sin lineamientos claros, sino que pretende realizar dicha gestión y se encuentra en un desarrollo incipiente.

En el caso de Perú, su normativa es bastante abultada, contando con lo siguiente:

- Aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM.
- Aprueban Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados D.S. N° 012-2017-MINAM
- Disponen la prepublicación en el Portal Institucional del Ministerio del Ambiente del proyecto de Decreto Supremo que aprueba los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. R.M. N° 182-2017-MINAM.
- Disponen la prepublicación, en el Portal Institucional del Ministerio del Ambiente, del proyecto de Decreto Supremo que aprueba los Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados. R.M. N°212-2017-MINAM
- Actualizan métodos de ensayo para el análisis de los parámetros de los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo. R.M. N° 137-2016-MINAM.
- Dictan reglas para la presentación y evaluación del Informe de Identificación de Sitios Contaminados. D.S. N° 013-2015-MINAM.
- Disposiciones complementarias para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. D.S. N°002-2014-MINAM.
- Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. D.S. N°002-2013-MINAM.

Sin perjuicio a ello, su implementación ha sido escasa dada la falta de una gobernanza adecuada, por lo que su efectividad como norma y política pública no ha podido ser evaluado, y por ende, se ha descartado su inclusión.

Alcance de la revisión

Las normativas estudiadas para cada país se refieren a aquellas relacionadas con aspectos de “contaminación” y potenciales efectos a la salud humana, dejando de lado otros aspectos tales como degradación de suelos por erosión o desertificación, o protección de suelos para el uso agrícola. Estos últimos factores tienen en algunos países (ej. Australia¹) sus propias iniciativas, guías e instrumentos normativos independientes a aspectos de contaminación.

No se considera tampoco en esta revisión un aspecto vital que corresponde a la normativa de suelo para la protección de biota o el medio ambiente en sí. Se reconoce este como un aspecto fundamental, ya que de dejarse de lado se podría tomar como una “libertad” para contaminar el suelo mientras que no se afectasen personas. Varios de los países revisados (ej. Australia, Países Bajos, Canadá entre otros) consideran la protección del medio ambiente en sus normativas, sin embargo, este tema es muy vasto y requeriría de una

¹ Disponible en: <http://www.soilquality.org.au/>

revisión por sí sola. No obstante lo anterior, se reconoce la necesidad de comenzar el proceso implementando medidas para la protección de las personas.

Es importante notar también que las normativas evaluadas en general hablan de “sitios”, y no solo de “suelos”. Esto, ya que si bien los contaminantes pudiesen haber sido inicialmente liberados al suelo, las maneras en que estos pueden afectar a la salud humana (“vías de exposición” en terminología técnica) pueden ser múltiples y asociadas a otras matrices distintas a suelo. En efecto, estas vías no solo incluyen la ingestión accidental del suelo, sino que también la inhalación de gases intersticiales o provenientes de aguas subterráneas (en el caso de contaminantes volátiles), el polvo en suspensión, el uso de aguas subterráneas como agua potable o riego, vegetales para consumo en suelos impactados, etc.

Es también relevante comprender que las normativas (incluyendo valores de referencia asociados) solo entran en juego cuando se gatilla un proceso de investigación de suelos, esto es, cuando la autoridad toma nota de una situación que pudiese estar afectando a la salud de las personas o el medio ambiente. No obstante, el inicio de un proceso investigativo puede darse por catastros de la autoridad, nuevos proyectos industriales (ej. líneas base), construcción de viviendas, actividades históricamente contaminantes, incluso denuncias del público (entre otros).

Principales aspectos evaluados

Para cada normativa se evaluaron aspectos normativos y técnicos. En cuanto a aspectos normativos, la revisión se enfocó a establecer los instrumentos regulatorios de cada país, la entidad fiscalizadora y cómo/cuándo se gatilla el proceso de investigación. Respecto a aspectos técnicos, se incluyó una revisión de las diferentes fases de la investigación, sus requerimientos y niveles de referencia que determinan que un sitio ingrese a un proceso de mayor investigación o manejo ambiental.

Es importante notar que en general en las normativas la superación de niveles de referencia no significa inmediatamente que un sitio o suelo esté “contaminado”, sino que se requieren mayores antecedentes para establecer el nivel de riesgo y si acciones de remediación/gestión inmediatas son necesarias. Sin embargo, en general en los países evaluados, una vez superándose los niveles de referencia, los sitios/suelos ingresan a un listado que en la práctica hace las veces de “registro de suelos contaminados”. Los niveles de referencia tampoco son objetivos estándares de remediación per se, si bien muchas veces se terminan utilizando para este fin.

Con respecto a la forma en que se definieron los niveles de referencia para cada normativa, solo algunos países lo detallan abiertamente en documentos públicos (Australia, Canadá, Estados Unidos). Para otros países (Alemania, Holanda, Italia) se pueden encontrar algunas nociones en documentos científicos (Carlson, 2007)², mientras que para otros (España, México, Brasil) no es posible encontrar esta información.

Otros aspectos evaluados

Adicionalmente a los aspectos normativos y técnicos, se revisaron factores geográficos, geológicos, sociales y económicos de los países, sin embargo, no se encontró gran relación entre estos aspectos y cómo los países han desarrollado sus normativas y sistemas de gestión. En este sentido, se desestimó realizar una revisión

² Carlson, C. (2007). *Derivation methods of soil screening values in Europe. A review and evaluation of national procedures towards harmonization*. European Commission, Joint Research Centre, Ispra.

general de la geología o actividades productivas de los países ya que no entregaba mayor valor a la determinación de aspectos valorables para la definición de normas y estándares de referencia.

Sin embargo, sí se encontraron algunos aspectos dignos de destacar que dictan relación con la definición de normativas. Entre estos se encuentran la consideración de valores background, las vías de exposición consideradas y la visión general que se le entrega a algunas normativas. Estos factores son incluidos en la revisión.

1.1 Alemania

El sistema de gestión de sitios contaminados de Alemania consta de dos leyes principales que son la *Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten* (*Bundes-Bodenschutzgesetz – BBodSchG*) traducido como “Ley sobre la protección contra los cambios dañinos del suelo y sobre la rehabilitación de sitios contaminados”; y la *Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung* (*BBodSchV*) traducido como “Ordenanza federal de protección al suelo y sitios contaminados”.

El proceso de evaluación cuenta con fases de investigación definidas para cada etapa (identificación, evaluación y remediación). Es dentro de la fase de evaluación donde, a través de la comparación de resultados con niveles de referencia, se determina la contaminación de un sitio.

Los valores de referencia están basados en riesgo a la salud y están definidos para diferentes rutas de exposición, las que incluyen potencial traspaso de la contaminación del suelo a las plantas o aguas subterráneas. Se considera también el background en las evaluaciones, pero la normativa lo indica solo para riesgos ecológicos.

Un esquema del sistema de gestión alemán se presenta en la Figura 1 y las siguientes secciones detallan aspectos normativos y técnicos relevantes.

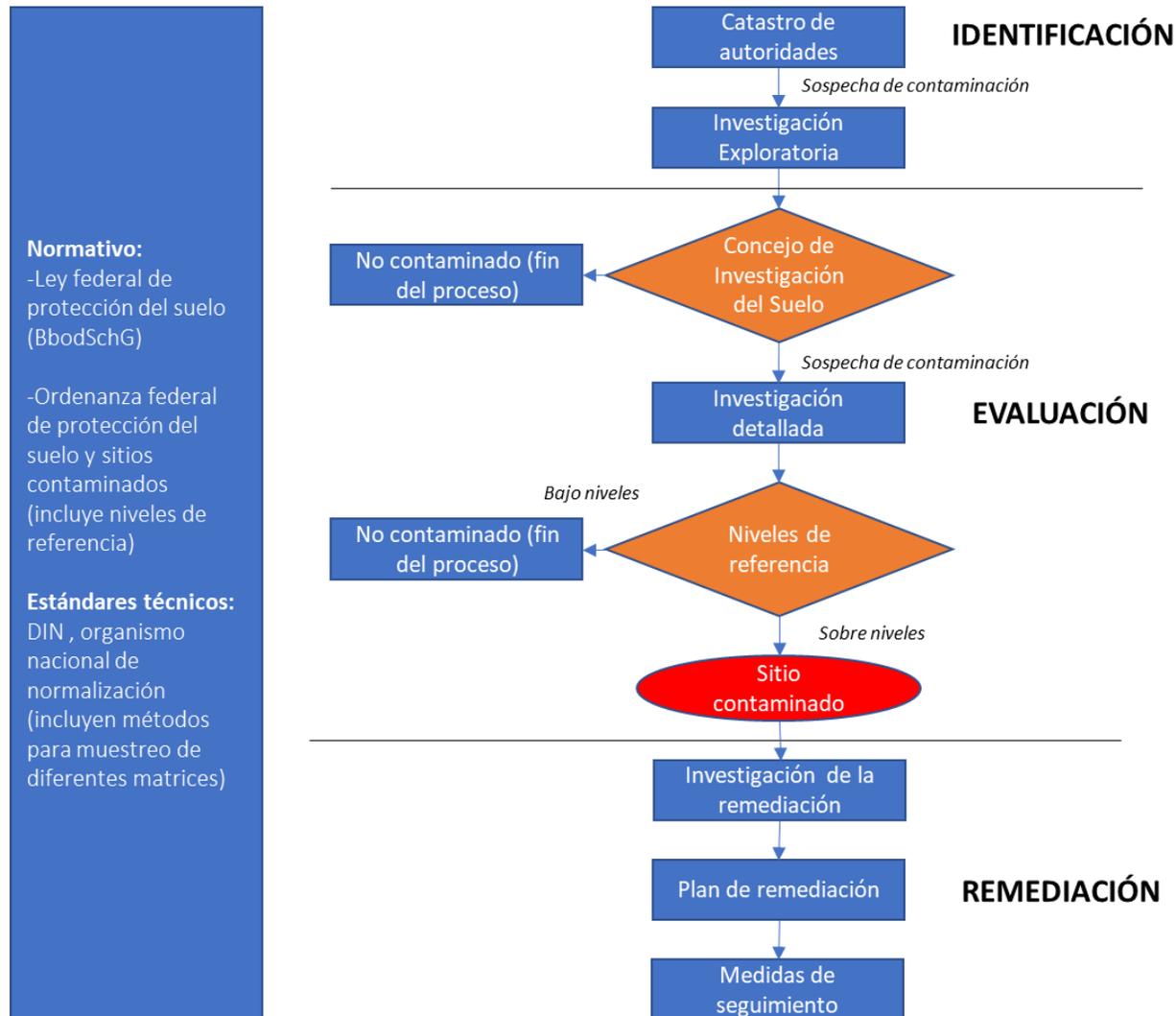


Figura 1 - Esquema de gestión de la norma alemana
Fuente: Elaboración propia

1.1.1 Marco normativo nacional

La protección de suelos se encuentra establecida en diversas leyes y regulaciones. Sin perjuicio de lo anterior, las dos más importantes son la Ley federal de protección del suelo (BbodSchG³), de fecha 17 de marzo de 1998 –que aplica como norma general y supletoria–, y la Ordenanza federal de protección de suelos y sitios contaminados (BbodSchV⁴).

³ Disponible en: <https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschg/>

⁴ Disponible en: <https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschv/>

1.1.1.1 Entidad fiscalizadora

En Alemania no existe una sola autoridad encargada de la fiscalización y, dado ello, su determinación vendrá dada por el componente del medioambiente afectado (suelo, suelo y aire, aguas subterráneas o si se refiere a lixiviados) y cómo el componente en cuestión fue afectado.

Las autoridades competentes tienen amplias facultades de inspección y fiscalización, pudiendo requerir información, desarrollar visitas y solicitar muestras. Dependiendo de la naturaleza de la investigación, puede incluso ser llevada a cabo bajo el ámbito del derecho penal.

1.1.1.2 Sistema de gestión de sitios contaminados

La BBodSchG establece que los propietarios deben tomar todas las acciones razonables para evitar cualquier peligro que pueda originar impactos adversos al suelo en sus inmuebles. También se establece un régimen de responsabilidad para los contaminadores, incluyendo los sucesores legales, los adquirentes de la tierra, dueños previos que hubiesen estado en conocimiento al momento de adquirir y poseedores, incluyendo arrendatarios y operadores del sitio contaminado.

Las autoridades, por su parte, cuentan con un amplio margen de discrecionalidad para determinar qué parte se hará responsable, incluso imponiéndole a su cargo las medidas de restauración. Como contrapartida, la parte en cuestión tiene derecho a dirigirse contra los otros responsables para exigir compensación en la medida en que aportaron a dicha contaminación.

Existen acuerdos de derecho público, entre las autoridades y privados, en que se estipulan acciones a tomar respecto a sitios contaminados, que son vinculantes para ambos, y de los cuales también pueden formar parte terceros. Los efectos vinculantes del acuerdo se refieren exclusivamente al marco del acuerdo, los contaminantes establecidos en él y el sitio en cuestión, no pudiendo extenderse a otros puntos.

1.1.2 Requerimientos técnicos para una investigación de sitio contaminado

Los requerimientos técnicos para las diferentes fases de una investigación y remediación de un sitio contaminado se encuentran descritos en las leyes:

- *Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz – BBodSchG)* - Ley federal de protección al suelo. Esta trata los aspectos de definiciones y obligaciones.
- *Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)* - Ordenanza federal de protección del suelo y sitios contaminados. Esta trata los aspectos de metodología, derivación de valores y otros aspectos técnicos.

Existe además una serie de estándares técnicos específicos emitidos por la *Deutsches Institut für Normung* (DIN) que es el organismo nacional de normalización en Alemania. Estos estándares tratan temas variados tales como métodos de muestreo (DIN ISO 10381), métodos analíticos (E DIN ISO 11047: 06.95), entre otros. Una lista completa de los estándares DIN aplicables puede encontrarse en el Anexo 1⁵ de la normativa alemana BBodSchV.

⁵ Disponible en: https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschv/anhang_1.html

La revisión de aspectos técnicos principalmente se concentrará en aquellos contenidos en la ley federal BBodSchV y sus anexos, la cual describe el proceso de investigación de suelos contaminados basado en las siguientes fases (Figura 2):

- Investigación exploratoria
- Investigación detallada
- investigación de remediación y plan de remediación



Figura 2 - Fases en la investigación y remediación de un sitio contaminado bajo legislación alemana
Fuente: Elaboración propia.

1.1.2.1 Fase I: Investigación exploratoria

La investigación exploratoria se realiza como parte de catastros generales realizados regularmente por la autoridad, en caso de existir indicios de que se usaron sustancias tóxicas en cantidades sustanciales o por un periodo largo de tiempo en un sitio. Este primer paso comprende la compilación de información de registros de propiedad, fotos históricas, registros de incidentes entre otros. Si se descubre un potencial de contaminación, se realiza un muestreo limitado de matrices ambientales tales como suelos y aguas subterráneas. Los resultados analíticos se comparan con los niveles de referencia indicados en la Ley BBodSchV.

Las investigaciones exploratorias no son obligatorias en transacciones de propiedad, pero suelen utilizarse para establecer ciertos estándares de resguardo para compradores y entidades financieras.

La *Fachbeirat für Bodenuntersuchungen* (FBU) o Concejo de Investigación del Suelo evalúa los datos del sitio y realiza luego una recomendación en cuanto al estado de contaminación del sitio. Esto puede significar la recomendación de mayor nivel de investigación (investigación detallada) o de cierre del proceso.

1.1.2.2 Fase II: Investigación detallada

Como se indicó anteriormente, una investigación detallada de sitio va a ser requerida cuando los resultados de la investigación preliminar indican contaminación en el sitio, la cual debe ser realizada por el responsable de la contaminación, sea este dueño del terreno, ocupante del terreno u otra entidad o persona determinada como responsable de la contaminación por la autoridad.

La investigación debe hacerse según los requerimientos de la Ley BBodSchV y estándares DIN, los cuales contemplan el muestreo de matrices ambientales tales como suelos, aguas subterráneas y gas intersticial del suelo. También se deben determinar las propiedades específicas del suelo, ya que influyen en los valores de referencia.

El objetivo de esta fase es la delimitación horizontal y vertical de la contaminación, además de la determinación de riesgos a la salud. Los criterios para la determinación de riesgo se encuentran en el Anexo 2 de la BBodSchV y comprenden los siguientes:

- Valores para evaluar rutas de exposición asociadas a la relación de las personas con el suelo en términos de contacto directo y uso.
- Valores para evaluar rutas de exposición asociadas a la relación del suelo con plantas/cultivos.
- Valores para la evaluación de las rutas de exposición asociadas a la relación del suelo con aguas subterráneas.

1.1.2.3 Fase III: Investigación de remediación, plan de remediación y medidas de seguimiento

El objetivo principal de la remediación establecido por la Ley BBodSchG es la prevención de los riesgos. La ley establece expresamente que la contaminación atribuible a los suelos y aguas deben ser remediadas en forma que los riesgos y efectos adversos a los individuos o bienes públicos sean eliminados.

La legislación alemana indica que deben desarrollarse medidas para la descontaminación de los sitios; o como mínimo, medidas para evitar la propagación de la contaminación y/o medidas para restringir el uso de un sitio o proteger a sus usuarios.

Las investigaciones de remediación deben incluir una evaluación de distintas medidas de mitigación del riesgo y se debe tomar en cuenta en todos los casos el “principio de la proporcionalidad”, es decir, las medidas requeridas deben ser costo efectivas y proporcionales al riesgo percibido. Los mecanismos de migración de la contaminación fuera del sitio deben ser considerados en la evaluación.

Si la remediación incluye la aplicación de suelo para establecer una capa donde pueda desarrollarse vegetación, esta debe cumplir con los requerimientos de calidad de indicados en los estándares DIN para este efecto. No se debe usar material que pueda disminuir la calidad del suelo o introducir una nueva contaminación (el suelo debe ser certificado y/o testeado).

El plan de remediación debe establecer las medidas y forma de aplicación de la tecnología definida como más apropiada, vale decir, que cumpla con los objetivos de protección de usuarios del sitio, además del principio de proporcionalidad. El plan debe especificar los impactos que también generarán dichas medidas en el medio ambiente y los costos asociados.

Las medidas de seguimiento son necesarias en casos donde se requiera mantención posterior a la remediación de una estructura o medida, y/o cuando sea necesario el monitoreo de posible exposición a contaminantes por la presencia de contaminación residual en el sitio.

1.1.2.4 Control de calidad

Los controles de calidad que deben realizarse durante el proceso están dictados por los estándares DIN y en las leyes alemanas, y corresponden principalmente al uso de técnicas de descontaminación y uso de duplicados, entre otros.

1.1.3 Niveles de referencia y contaminantes de interés

Los niveles de referencia se utilizan para la determinación de la contaminación en la Fase II del proceso de investigación de un sitio. Estos se entregan en el Anexo 1 del informe.

Los usos de suelos para la salud de las personas contemplados por la Ley BBodSchV son los siguientes:

- Lugares de juegos de niños
- Áreas residenciales
- Parques y lugares de recreación
- Sitios destinados a usos industriales y comerciales

Para investigaciones referentes a la relación suelo-planta, se hace la distinción a los siguientes usos de suelo:

- Agricultura, huertos
- Pastizales o espacios abiertos.

Para investigaciones referentes a la relación suelo-agua subterránea, no se necesita distinguir el uso de suelo.

Se dicta el uso de agua regia⁶ para determinar metales y metaloides totales, sin embargo, la Ley BBodSchV contempla también el uso de extractos para determinar el potencial de afectación a las plantas y potencial de lixiviación a aguas subterráneas. Para la relación suelo-planta se analiza un extracto de nitrato de amonio, mientras que para el potencial de lixiviación a aguas subterráneas se utiliza agua desionizada. Se debe tomar en cuenta también si en el estado natural el agua que percole se acidificaría (ej. drenaje ácido), habría contacto con solubilizantes o se espera un cambio en condiciones RedOx, por lo que se deben reproducir estas condiciones en el análisis de los extractos acidificando o variando el test según necesario.

Bajo la Ley BBodSchG y BBodSchV existen tres “tipos” de valores de referencia, los que corresponden a los siguientes, según un orden de mayor a menor riesgo:

- Valores de “acción” – Los que corresponden a valores sobre los cuales se deben tomar acciones para prevenir el riesgo a la salud
- Valores de “test” – Sobre los cuales se debe revisar caso a caso si existe daño al suelo (no necesariamente daño a la salud)
- Valores de “precaución” - Los que indicarían que hay riesgo de desmejoramiento del suelo (no necesariamente daño a la salud)

⁶ Mezcla de ácido nítrico con ácido clorhídrico en una proporción de 1:3

Adicionalmente, la legislación alemana incluye valores de “carga”, que corresponden a valores permisibles máximos que se pueden aplicar en una hectárea de un determinado contaminante.

Existen niveles de referencia para una gran variedad de compuestos y elementos que abarcan los siguientes grandes grupos:

- Metales y metaloides (As, Cr, Zn, Pb, U, etc.)
- Hidrocarburos totales
- BTEXN (benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos y naftaleno)
- Hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs)
- Solventes organoclorados (TCE, DCE, cloruro de vinilo)
- Pesticidas organoclorados (Aldrin, Dieldrin, DDT, and DDE)
- Policlorobifenilos (PCBs)
- Dioxinas

Si el uso que se le desea dar al sitio es para agricultura, las concentraciones en el suelo no deben superar el 70% de los valores de referencia precautorios, ya que se asume un futuro input sostenido de contaminantes por manejo del sitio y deposición atmosférica.

Adicional a lo anterior, vale la pena mencionar que la legislación alemana dentro de su normativa para calidad de aire contiene valores de referencia para contaminantes en polvo sedimentable, basados en la *Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft*, más conocida como TA Luft (“Directrices técnicas de prevención de la contaminación atmosférica”). Esto es relevante ya que la deposición de polvo sedimentable enriquecido en contaminantes es una vía importante en la contaminación de suelos y el cumplimiento con esta norma permitiría evitar efectos de acumulación excesiva.

1.1.3.1 Metodología de derivación de niveles de referencia

El objetivo principal de la normativa es la protección de cambios indeseables en el suelo donde se afecte la función de este y donde estos cambios puedan generar problemas o peligros a las personas.

La normativa alemana no indica que se esté incurriendo en un peligro automáticamente por sobrepasar los niveles de referencia, más bien, si un nivel de referencia se excede, entonces se debe investigar si los parámetros usados para derivar los niveles de referencia son aplicables para el sitio en específico.

Los niveles de acción y test están relacionados con el uso del sitio en particular y son basados en riesgo. Dado que se pueden tomar una multitud de escenarios para la definición del riesgo, la normativa alemana ha definido receptores y escenarios específicos que corresponden a niños en sectores de juego, sectores residenciales, parques y suelos usados para fines industriales o comerciales. Se indica también que cuando sea posible se deben utilizar las concentraciones biodisponibles para determinar valores realistas.

Se toman dos vías de exposición que corresponden a la ingesta de suelo accidental y la inhalación de partículas de suelo. La evaluación de peligro toma en cuenta las sustancias presentes en el suelo (datos toxicológicos) y la exposición a esas sustancias desde otras vías (alimentos y agua).

En cuanto a datos toxicológicos para contaminantes cancerígenos se toma un riesgo de cáncer adicional de 10^{-5} como aceptable, con una exposición de vida de 70 años. Se asume que el tiempo de ingreso del suelo es solo 8 años, por consiguiente se utiliza un factor de 8.75 (70/8) para el cálculo de riesgo cancerígeno.

Para contaminantes no cancerígenos se consideran dosis tolerables (Dtb) que corresponden a un valor intermedio entre niveles donde no se encuentran efectos (*no observed adverse effect*, NOAEL en inglés) en poblaciones sensibles y el nivel mínimo donde sí se encuentran efectos (*lowest observed adverse effect level*, LOAEL en inglés) de acuerdo a estudios en animales. Las dosis máximas tolerables se multiplican por un factor que simboliza la incertidumbre (Frc). Se asume también que el 80% de la dosis tolerable ya es consumida a través de otras vías (alimentos y agua). Se considera luego esta dosis máxima con la tasa de ingestión/inhalación de suelo (dividiendo por esta).

Como ejemplo se entrega la ecuación usada para la ruta oral de no cancerígenos en lugares de juegos, áreas residenciales y parques:

$$\text{Valor de referencia} = (\text{Dtb} \times (\text{Frc} - 0,8)) / \text{tasa de ingestión de suelo}$$

Notar que para la vía de inhalación, se incluye adicionalmente un factor de acumulación (5 para inorgánicos y 10 para orgánicos) que se multiplica a la tasa de ingestión del suelo.

El cálculo para las áreas industriales no considera la ingestión, solo la concentración en el polvo (vía de inhalación).

Estos métodos se pueden utilizar para realizar evaluaciones sitio específicas dentro de una evaluación de riesgo.

1.1.3.2 *Uso de los background*

En cuanto al uso de los background en la normativa alemana, esta indica que no existe desmejoramiento del suelo, en aquellos casos con concentraciones naturalmente elevadas. Para el caso de áreas extensas de suelos con contenido de contaminantes elevados como consecuencia de urbanizaciones, se puede incluir este factor y compararlo con sitios específicos durante la evaluación de riesgos; siendo una especie de background antropogénico. Sin embargo, este no se utiliza en la definición de los niveles de referencia en la normativa para salud.

1.1.4 *Muestreo*

El muestreo debe ser definido de acuerdo al tamaño del sitio, la distribución esperable vertical y horizontal, el uso actual y el uso propuesto. En caso de que se desconozca la distribución de los contaminantes, se debe realizar un muestreo por malla, pero cuando se tenga información de esta, se debe tomar en cuenta para definir el muestreo.

El Anexo 1 de la Ley BBodSchV indica la profundidad de muestreo para diferentes usos de suelo, los que se indican a continuación en la Tabla 1. Es importante notar que estos son requisitos mínimos y que el muestreo debe poder delimitar la contaminación en el sitio.

Tabla 1 - Profundidad de muestreo para diferentes usos de suelo

Tabla 1 Profundidad de muestreo orientada al uso para estudios del suelo - humanos y suelo - rutas de cultivo		
Ruta de impacto	Uso de suelo	Profundidad de muestreo
Suelo - humano	Zona de juegos para niños, zona residencial	0-10 cm 1)
		10-35 cm 2)
	Parque e instalaciones de ocio	0-10 cm 1)
	Terreno industrial y comercial	0-10 cm 1)
Suelo - planta útil	Agricultura, huerto	0-30 cm 3)
		30-60 cm 3)
	Pradera	0-10 cm 4)
		10-30 cm 4)
1) Área de contacto para la absorción oral y dérmica de contaminantes, 0-2 cm adicionales si la vía de inhalación es relevante. 2) 0-35 cm: máx. profundidad alcanzable por los niños. 3) Horizonte relevante. 4) Área de la raíz principal de la planta.		

Adicional a lo señalado, existen requerimientos para muestreo de aguas subterráneas en el sitio y como así también para gases intersticiales del suelo. Estos están definidos en sus respectivos estándares DIN.

La Ley BBodSchV también incluye provisiones para la protección del suelo por erosión por efectos del agua. Estos no son discutidos en mayor profundidad en este estudio.

1.2 Australia

1.2.1 Marco normativo nacional

Australia es una federación de seis estados con dos territorios continentales, que en su conjunto se denominan la “Commonwealth of Australia”, los cuales son: New South Wales (NSW), Victoria, Queensland, South Australia, Western Australia, Tasmania, Australian Capital Territory y Northern Territory. En el presente análisis se profundizará respecto a la norma del Estado de Queensland.

Los poderes de la Commonwealth para dictar leyes con respecto al medio ambiente se encuentran restringidos a materias de relevancia nacional, las cuales se enmarcan en la *Environment Protection and Biodiversity Conservation Act 1999* (EPBC Act) o Ley de Protección y Conservación de la Biodiversidad 1999 (Ley EPBC), pieza fundamental de la legislación ambiental de la Commonwealth.

No existen medidas particulares en la Ley EPBC con respecto a la gestión de sitios contaminados, ya que esta se utiliza principalmente para la evaluación de proyectos nuevos que pudiesen afectar materias de significancia nacional. El único aspecto que aborda esta ley respecto a sitios contaminados es la prevención de la contaminación, en donde se mandata a evaluar la posibilidad del proyecto propuesto respecto a la afectación de la salud humana a través de factores tales como ruido, olores, vapores, humo u otros contaminantes (Australian Government, Department of Sustainability, Environment, Water, Population and

Communities, 2013)⁷. En este sentido, son los estados y en menor medida el gobierno local (ayuntamientos) los encargados de legislar y fiscalizar en materia de gestión de sitios contaminados.

En cuanto a los organismos involucrados en la materia, la legislación federal de Australia que refiere a la gestión de sitios contaminados es la ley *National Environment Protection Council Act 1994*, la cual establece el organismo “National Environment Protection Council” o NEPC (Consejo de Protección Nacional del Medio Ambiente), entidad compuesta por miembros de la Commonwealth. Una de las funciones de este consejo es el establecer las “*National Environmental Protection Measures*” o “NEPMs” (Medidas Nacionales de Protección Ambiental) entre las que se encuentra la creación y mantención de una guía para la evaluación de contaminación en sitios. Esta guía se denomina *National Environment Protection (Assessment of Site Contamination) Measure 1999* (National Environmental Protection Council (NEPC), 2013)⁸, o NEPM 2013, año de su última actualización. En este documento, principalmente de aspecto técnico y científico, se encuentran las provisiones para la evaluación de sitios contaminados incluyendo límites de referencia obligatorios y su derivación. Respecto a esta guía nos referiremos con mayor profundidad en la revisión de aspectos técnicos.

1.2.2 Norma estatal (Queensland)

1.2.2.1 Environmental Protection Act 1994

La *Environmental Protection Act 1994* (EP Act o Ley EP) es uno de los componentes principales del sistema legal ambiental en el estado de Queensland, teniendo como objetivo principal la protección ambiental dentro del contexto del desarrollo sostenible.

La EP Act 1994 contiene provisiones para una serie de materias, entre los que se incluyen el desarrollo de políticas ambientales (*Environmental Protection Policies* o EPPs), el proceso de evaluación de impactos ambientales, obligaciones con el medio ambiente, obligaciones de reportes y entrega de información de daño ambiental, poderes investigativos y un sistema para la gestión de suelos contaminados, entre otros.

1.2.2.2 Definiciones

La Ley EP define una serie de términos, sin embargo, existen cinco definiciones que resultan relevantes para el presente estudio:

Medio ambiente:

- a) *Ecosistemas y sus partes constituyentes, incluyendo gente y comunidades*
- b) *Todo recurso natural y físicos*
- c) *Las cualidades y características de ubicaciones, lugares y áreas, sin importar cuan grandes o pequeñas, que contribuyan a la diversidad biológica e integridad, valor o interés científico intrínseco o atribuido, servicio o bien público, armonía y sentido de comunidad*
- d) *Las condiciones sociales, económicas, estéticas y culturales que afectan o son afectadas por los aspectos mencionados anteriormente.*

Valor ambiental:

⁷ Australian Government, Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities. (2013). *Actions on, or impacting upon, Commonwealth land, and actions by Commonwealth agencies*. ACT: Commonwealth of Australia.

⁸ National Environmental Protection Council (NEPC). (2013). *National Environment Protection (Assessment of Site Contamination) Measure 1999*.

Cualidad o característica física del medio ambiente que conduce a la salud ecológica o servicio público o seguridad

Daño ambiental:

Cualquier efecto adverso en un valor ambiental. En esta categoría se define también:

a) “Daño ambiental material” que corresponde a daño ambiental que cueste entre \$5000 y \$50000 AUD para prevenir o remediar y;

b) “Daño ambiental material serio” que corresponde a daño ambiental que comprenda consecuencias irreversibles, daño a áreas con alto valor para la conservación o que cueste más de \$50000 AUD para prevenir o remediar.

Las definiciones anteriores son importantes para comprender la aplicación de la Ley EP en términos jurídicos perseguibles. Según (McGrath, 2018)⁹ existen dos puntos destacables:

- 1) Un valor ambiental no es meramente un aspecto físico, si no que una cualidad o característica física representada por una parte física del medio ambiente. Por ejemplo, un árbol, bosque o una especie en peligro no es un “valor ambiental” per se, pero cada una de estas cosas representan valores ambientales tales como diversidad biológica, valor para la conservación e integridad ecológica. De manera similar, el agua no es un valor ambiental, pero la capacidad del agua de ser apta para beber si lo es.
- 2) El daño ambiental es cualquier efecto adverso en un valor ambiental. El daño ambiental no se circunscribe solo entonces a la contaminación, si no que incluye todas las formas de daño como deforestación y erosión del suelo.

1.2.2.3 Entidad fiscalizadora

El Departamento de Medio Ambiente y Ciencia (*Department of Environment and Science* o DES) es el órgano estatal encargado de fiscalizar y hacer cumplir la Ley EP. Es responsabilidad del titular el cumplir con las leyes ambientales, y/o remediar donde se determine alguna falla o riesgo según sea indicado por la autoridad. En caso de ausencia de titular, es el estado el que se hace cargo de estas medidas.

El DES tiene facultades fiscalizadoras que entrega poderes específicos a las llamadas “personas autorizadas” (*authorised persons*) (Department of Environment and Science, 2016)¹⁰, entre los cuales se encuentran la facultad de ingreso a un lugar o vehículo particular (previo consentimiento), recuperar evidencia y exigir bajo pena el nombre, dirección u otra información de personas que pudiesen estar contraviniendo la Ley EP.

1.2.2.4 Sistema de gestión de sitios contaminados

Registro de sitios

⁹ McGrath, C. (2018). *Synopsis of the Queensland Environmental Legal System*. Environmental Law Australia.

¹⁰ Department of Environment and Science. (2016). *Guideline, Environmental Protection Act 1994, Powers of authorised persons*. Queensland Government.

Queensland mantiene un registro de sitios con potencial presencia de contaminantes (*Environmental Management Register* o EMR) y probadamente contaminados (*Contaminated Land Register* o CLR).

Se listan en el EMR, los sitios donde se ha desarrollado o se está desarrollando alguna actividad definida como “notificable”, o si el sitio está contaminado. La actividad “notificable” es comunicada a la autoridad por el dueño del terreno, el usuario o es la misma autoridad quien lo determina. Esto no significa que el sitio no sea apto para su uso actual o que obligatoriamente necesite ser remediado, si no que dependerá de la naturaleza de la contaminación y riesgos de ésta lo que puede ser determinado contratando a una “persona calificada apropiadamente” (*suitably qualified person* o SQP) para que realice una investigación. Una SQP es un profesional (usualmente un consultor en sitios contaminados) que tenga las calificaciones y experiencia necesaria y que sea miembro de una organización profesional aprobada por la regulación.

El registro EMR, que contiene detalles de la contaminación y los usos permitidos, indica si dicho sitio cuenta con un “plan de manejo para el sitio” (*site management plan* o SMP). Este último contiene medidas que deben ser mantenidas para el uso del sitio, a fin de evitar riesgos a la salud de los usuarios, miembros de la comunidad y medio ambiente. Estas medidas incluyen consideraciones tales como mantención de una superficie rígida en una parte del sitio o prohibición de excavar, entre otras.

El registro CLR contiene sitios en los cuales una investigación ha probado que existe un riesgo o está ocurriendo un daño a un “valor ambiental” y frente a lo cual se requieren acciones inmediatas para mitigar este riesgo o daño ambiental.

Cualquier sitio donde sea necesario realizar remediación para prevenir “daño ambiental serio” y proteger la salud u otros aspectos del medio ambiente pasan del registro EMR al registro CLR.

Actividades notificables

La Ley EP incluye 38 actividades definidas como “notificables” (*Notifiable Activities*), las que incluyen desde estaciones de servicio, manufactura de productos químicos a tratamiento de maderas. Los sitios pueden ser incluidos en el EMR por notificación del dueño, o por el estado.

Requerimiento para una investigación de sitio contaminado

El detonante principal para el requerimiento de investigación de sitio contaminado en Queensland es el desarrollo de un proyecto que requiera un cambio de uso de suelo (*material change of use* o cambio de uso material), en un sitio que esté incluido en el EMR o CLR y que además presente algunas de las siguientes características:

- El cambio de uso sea a un uso “sensible”, como residencial, jardín infantil, etc.; o
- El proyecto sea para uso comercial, pero requiera del uso de espacio subterráneo ej. estacionamientos, taller, etc.

Las anteriores provisiones se encuentran incluidas en el documento *Planning Regulation 2017 (Planning Act 2016)* del gobierno de Queensland.

Por otro lado, el requerimiento de una investigación de sitio contaminado puede generarse dentro del proceso de desarrollo de una evaluación de impacto ambiental (*environmental impact statement*) bajo la Ley EP para un proyecto que esté ubicado en un sitio en el EMR/CLR, o bien si la autoridad lo determina pertinente.

La autoridad ambiental también está facultada para exigir al dueño del terreno una investigación de sitio contaminado cuando existan sospechas de que se está vulnerando la Ley EP.

Otros motivos por los cuales se realiza una investigación de sitio contaminado provienen en general de situaciones que se dan entre particulares, tales como los *Due dilligence* en compraventa de terrenos, disposición de residuos, mantención voluntaria de programas de monitoreo ambiental, etc.

Como se ha mencionado anteriormente, la investigación de sitio contaminado debe desarrollarla una persona calificada (SQP) y para que la autoridad considere esta evaluación en su toma de decisiones, la investigación debe ser firmada por un auditor en sitios contaminados aprobado ante la autoridad (los que no son funcionarios del gobierno). Existen en este momento 27 auditores acreditados¹¹. La razón de la necesidad de este requerimiento es que la autoridad ambiental ha decidido desde el 2015 desligarse de labores de evaluación técnica y enfocarse en el cumplimiento del proceso (y calidad de este), como una forma de disminuir el gasto público y aumentar la eficiencia.

Remediación y/o autorización para el desarrollo de proyectos en un sitio en el EMR/CLR

Para que un sitio sea removido del registro EMR/CLR (y se pueda permitir el uso de suelo) o se pueda permitir el desarrollo de una actividad sensible, este debe cumplir el proceso indicado abajo en la Figura 3.

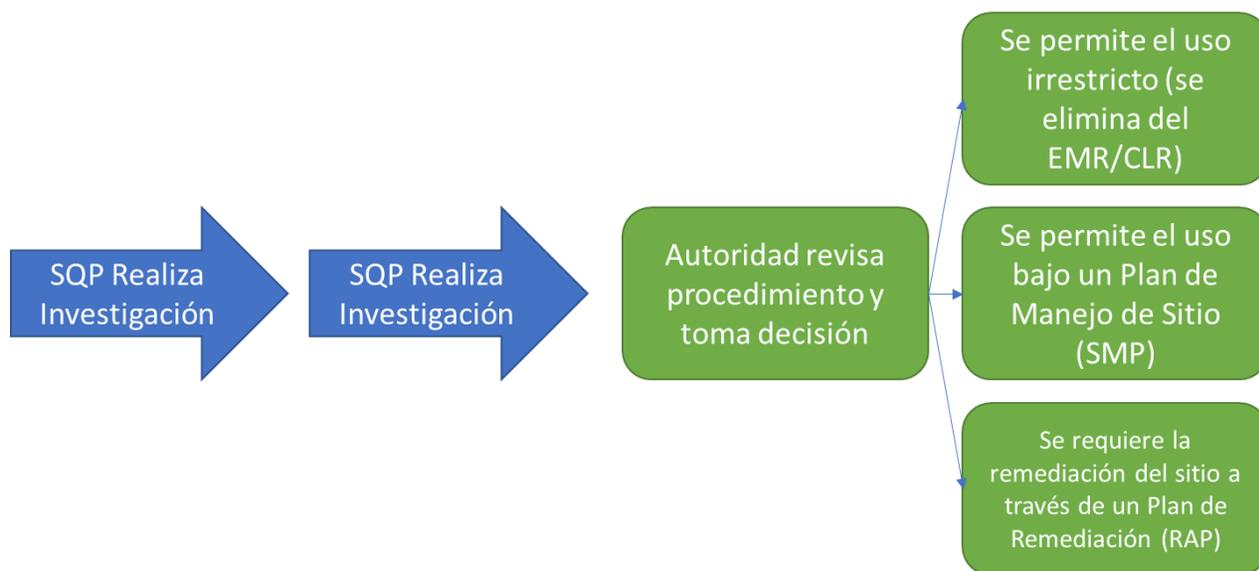


Figura 3 - Etapas descritas bajo normativa
Fuente: elaboración propia

Como se muestra en la imagen, existen principalmente tres posibles resultados de la evaluación de la autoridad, aunque la gran mayoría de las veces, la autoridad toma la recomendación del auditor para su decisión.

¹¹ Disponible en: <https://www.qld.gov.au/environment/pollution/management/contaminated-land/auditors/auditor-engagement>

Como mencionado anteriormente, un SMP es un documento legal que detalla las medidas que deben tomarse para permitir el uso del sitio sin realizar cambios a este, el cual puede exigir monitoreo ambiental para comprobar que las medidas requeridas se siguen implementando o que la contaminación no ha variado, en definitiva, que el sitio no presenta un riesgo ambiental.

Si se requiere la remediación del sitio, esta es realizada bajo un plan de acción para la remediación (*remediation action plan* o RAP), el cual es un documento simple que detalla el área contaminada y las medidas que se deben realizar para hacer el sitio seguro para el desarrollo de una actividad sensible. Luego de la remediación el sitio puede seguir en el EMR, no así en el CLR y permitirse la actividad bajo un SMP, o puede ser removido de todos los registros permitiéndose su uso irrestricto.

Posteriormente a la remediación, se debe preparar un documento de validación "*validation report*", que certifique que la remediación se ha realizado de manera apropiada. Este también debe ser preparado por un SQP y aprobado por un auditor.

Adicionalmente, si la remediación requiere de la disposición de material contaminado, se necesitará un permiso de disposición "*Disposal Permit*", otorgado por la autoridad ambiental.

Cabe notar que todo este proceso, tanto como los costes del SQP, auditor, informes y administrativos de la autoridad son gastos que debe incurrir el mandante del proyecto.

1.2.3 *Requerimientos técnicos para una investigación de sitio contaminado*

Como mencionado anteriormente, los requerimientos técnicos para una investigación de sitio contaminado se encuentran descritos en el documento *National Environment Protection (Assessment of Site Contamination) Measure 1999* (National Environmental Protection Council (NEPC), 2013)¹², llamado también NEPM 2013.

Este documento indica que la investigación, remediación y gestión de los sitios contaminados pueden dividirse principalmente en cuatro fases según se indica en la siguiente Figura 4.

¹² National Environmental Protection Council (NEPC). (2013). *National Environment Protection (Assessment of Site Contamination) Measure 1999*.

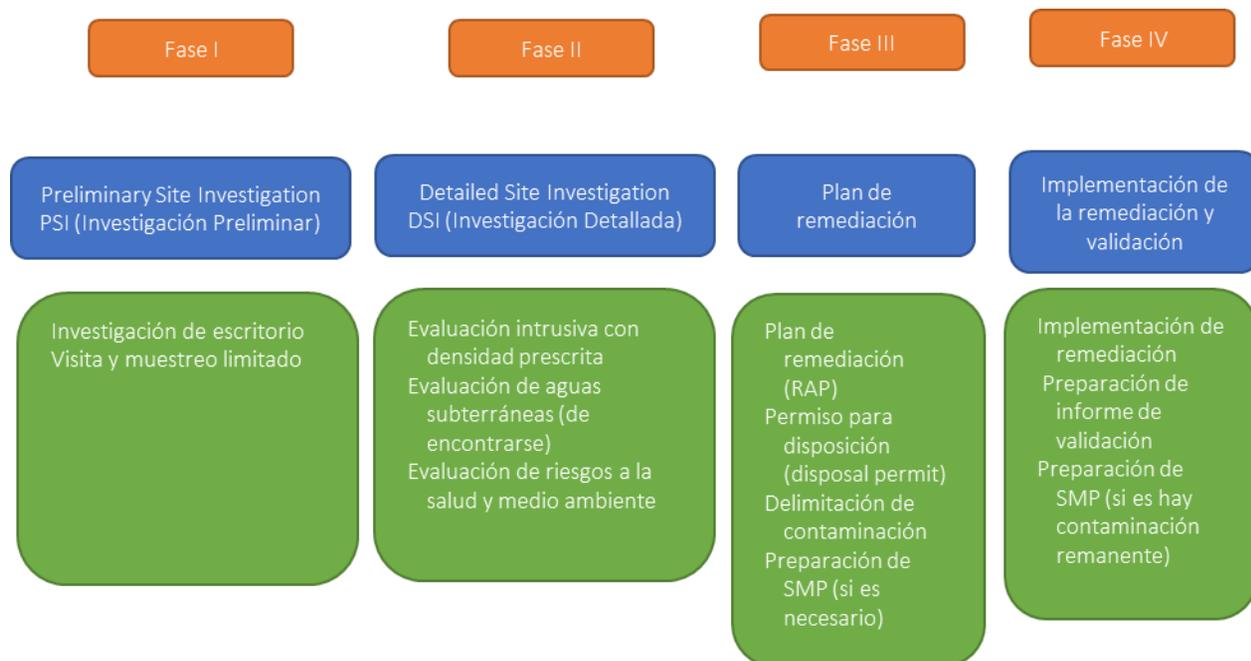


Figura 4 - Fases en la investigación y remediación de un sitio contaminado bajo legislación australiana
Fuente: Elaboración propia

1.2.3.1 Evaluación preliminar de sitio (PSI)

La evaluación preliminar de un sitio incluye principalmente:

- Todas las actividades pasadas y presentes con el potencial de contaminar el sitio
- Detalles de los tipos de contaminación
- Una evaluación en terreno del potencial de contaminación del sitio por medio de muestreo limitado
- Una recomendación de la necesidad de mayor investigación

Uno de los objetivos principales de una evaluación de sitio preliminar (Fase I) es establecer la historia del sitio para determinar actividades potencialmente contaminantes en el sitio y determinar las ubicaciones más apropiadas para el muestreo intensivo, en caso de requerirse en la Fase II.

1.2.3.2 Investigación Detallada de Sitio (DSI)

Una investigación detallada de sitio es requerida cuando los resultados de la investigación preliminar indican contaminación potencial o confirmada en el sitio. Esto puede ser por resultados analíticos por sobre los niveles de referencia de protección a la salud o medio ambiente, o por encontrarse evidencia de actividades contaminantes históricas. La investigación detallada debe contener lo siguiente:

- Máximos y promedios (95% UCL) de los diferentes contaminantes
- Potencial de movilidad y lixiviado de los contaminantes

- Presencia/ausencia de hidrocarburos en fase libre¹³
- Potencial de contaminación de aguas subterráneas
- Potencial de migración de compuestos orgánicos volátiles a espacios interiores (subterráneos, habitaciones, estacionamientos, etc.)
- Potencial de impactos a la calidad del aire en el sitio
- Posibilidad de migración de la contaminación fuera del sitio a través del suelo, escorrentía superficial, aguas subterráneas, o vía aérea
- Impactos potenciales a la salud pública, el medio ambiente y estructuras.

El plan de muestreo en esta etapa será determinado por la historia del sitio, el tipo de suelo y la necesidad de muestrear el suelo natural donde exista relleno. La extensión del relleno se debe muestrear para delinearlo en el sitio, así también cualquier material apilado para su disposición. Se deben tomar muestras en sectores alejados de impactos antropogénicos para establecer los niveles naturales de metales y metaloides en el suelo.

Si el sitio se encuentra con contaminantes por sobre niveles aceptables para la salud o el medio ambiente se deberá establecer un plan de remediación (RAP). Es posible también realizar un proceso de análisis de riesgo sitio-específico de acuerdo a la metodología indicada por NEPM 2013, la cual está basada en ecuaciones principalmente derivadas por la USEPA para su programa de “*superfunds y brownfield sites*” (ver revisión técnica de Estados Unidos en Sección 1.7)

La densidad a la cual se debe muestrear para cumplir con los requerimientos de una DSI está indicada en el standard australiano AS 4482.1—2005 *Guide to the investigation and sampling of sites with potentially contaminated soil*. Esto sigue la fórmula:

$$G = R/0,59$$

$$N = A/(G^2)$$

Donde:

G: distancia entre dos puntos de muestreo en m

R: radio del “*hot spot*” circular que se desea detectar, en m

0,59: factor derivado de la probabilidad en un 95% de detectar un “*hot spot*” circular

N: número de puntos de muestreo necesarios

A: Área del sitio en m²

En la siguiente Tabla 2 se observa el número mínimo de puntos requerido según el tamaño del sitio, de acuerdo a la fórmula anterior.

Tabla 2 - Número mínimo de puntos de muestreo requeridos bajo estándar australiano

Diámetro del <i>hot spot</i> que puede ser detectado con 95% de confianza (m)	Tamaño de la malla (m)	Área del sitio (Ha)	Número mínimo de puntos
11,8	10	0,05	5
15,2	12,9	0,1	6

¹³ Hidrocarburos no disueltos

Diámetro del <i>hot spot</i> que puede ser detectado con 95% de confianza (m)	Tamaño de la malla (m)	Área del sitio (Ha)	Número mínimo de puntos
19,9	16,9	0,2	7
21,5	18,2	0,3	9
22,5	19,1	0,4	11
23,1	19,6	0,5	13
23,6	20	0,6	15
23,9	20,3	0,7	17
24,2	20,5	0,8	19
25	21,2	0,9	20
25,7	21,8	1	21
28,9	24,5	1,5	25
30,5	25,8	2	30
31,5	26,7	2,5	35
32,4	27,5	3	40
32,9	27,9	3,5	45
33,4	28,3	4	50
34,6	29,3	4,5	52
35,6	30,2	5	55

Fuente: *National Environment Protection (Assessment of Site Contamination) Measure 1999.*

1.2.3.3 Plan de remediación (RAP)

Cuando los resultados de una investigación de sitio indiquen riesgo potencial a la salud o medio ambiente, se deberá realizar un plan de remediación (RAP), el cual debe contener:

- El volumen de suelo que requiere remediación
- Los valores objetivo que deben alcanzarse para hacer al sitio seguro para el uso de suelo actual o futuro
- Detalles de los procedimientos y planes para hacer que el riesgo disminuya a niveles aceptables
- Copias de los permisos y licencias requeridas por las autoridades regulatorias

1.2.3.4 Implementación de la remediación y validación

Los detalles específicos de la remediación tales como medidas de seguridad, maquinaria a utilizar, cronograma de actividades, etc. no son requerimiento específico del RAP, pero debiesen ser contemplados en un documento de trabajo.

Posterior a la remediación, se debe realizar un muestreo y análisis del área remediada presentando los resultados en un informe de validación. Este informe debe contener toda la información relativa a los trabajos de remediación, y demostrar que los niveles obtenidos se encuentran bajo los valores de remediación establecidos.

Los resultados deben estar por debajo de los valores de remediación establecidos para que la autoridad declare el sitio como "limpio" y lo remueva de sus registros EMR/CLR. De otra manera, si existiese

contaminación remanente, el uso de suelo propuesto o actual aún se podría permitir mediante un *site management plan* (SMP). Es importante notar que puede haber instancias donde sea más seguro dejar el contaminante bajo tierra que excavarlo, es muy usual en estos casos la aplicación de un SMP.

1.2.4 Niveles de referencia y contaminantes de interés

Los niveles de referencia para la protección de riesgos a la salud y medio ambiente están contenidos en la NEPM 2013. Existen niveles de referencia para una gran variedad de compuestos y elementos que abarcan los siguientes grandes grupos:

- Metales y metaloides (As, Cr, Zn, Pb, U, etc.)
- Hidrocarburos totales según sus fracciones (*total recoverable hydrocarbons*)
- BTEXN (benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos y naftaleno)
- Hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs)
- Solventes organoclorados (TCE, DCE, cloruro de vinilo)
- Pesticidas organoclorados (Aldrin, Dieldrin, DDT, and DDE)
- Policlorobifenilos (PCBs)

Recientemente se han incluido también niveles de referencia para contaminantes emergentes como las sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas (PFAS).

Los niveles de referencia se han incluido en el Anexo 1 del presente informe.

1.2.4.1 Estimación de riesgo según uso de suelo

En cuanto a los niveles de referencia para diferentes compuestos y receptores (usos de suelo), estos se pueden separar en los siguientes:

HILs (*Health investigation levels*): corresponden a niveles de investigación para protección de la salud de riesgos causados por exposición crónica a contaminantes. Los HILs no son estándares para remediación, si no que establecen la concentración sobre la cual se requerirá mayor investigación y evaluación de los riesgos presentes. Los HILs se dividen en los siguientes de acuerdo al uso de suelo:

- HIL A: Residencial con jardín o suelo accesible (asume que las frutas y verduras producidas en el lugar corresponden a menos del 10% de la dieta). También incluye jardines infantiles y escuelas primarias.
- HIL B: Residencial con mínimas oportunidades de acceso al suelo. Incluye viviendas con espacios pavimentados y sellados como departamentos y edificios.
- HIL C: Espacio público como parques, canchas de deportes, escuelas secundarias y veredas. No incluye espacios públicos no desarrollados como bosques o campos, los que debiesen ser sujetos a un análisis de riesgo específico.
- HIL D: Comercial o industrial como negocios, industrias, etc.

Estos niveles se relacionan directamente con el tiempo de exposición de un usuario y con la edad del usuario, donde para el uso más sensible, se considera a un infante de 2 años con residencia permanente.

En general los HILs están expresados en mg/kg de concentración en el suelo, salvo para contaminantes volátiles clorinados para los cuales se expresan en mg/m³ ya que la vía principal de exposición son los vapores emanados del suelo (por lo que debe realizarse investigación y muestreo de estos vapores).

HSLs (*Health screening levels*): Corresponden a niveles de protección para la salud de riesgos por exposición a hidrocarburos de petróleo por ingestión, dermal e inhalación de vapores. Incluyen los mismos niveles de protección por uso de suelo que los HILs (A, B, C y D), pero incluyen niveles tanto para aguas subterráneas en mg/l (por potencial vaporización de contaminantes desde el agua), vapor en el mismo suelo (mg/m^3) y suelo (mg/kg).

Las fracciones consideradas para la evaluación de hidrocarburos por su rango en carbono (C) corresponden a F1 ($\text{C}_6\text{-C}_{10}$), F2 ($>\text{C}_{10}\text{-C}_{16}$), F3 ($>\text{C}_{16}\text{-C}_{34}$) y F4 ($>\text{C}_{34}\text{-C}_{40}$) tomados de la legislación canadiense.

Los HSL consideran también el tamaño de partícula predominante en el suelo para establecer límites dado el diferente potencial de migración de los vapores en distintos materiales como arenas, limos o arcillas.

Es importante recalcar nuevamente que estos niveles consideran efectos crónicos y que de encontrarse concentraciones potencialmente explosivas o que presenten efectos agudos, se deben tomar medidas de protección inmediatas por sobre el proceso de evaluación de sitio contaminado.

EILs (*Ecological investigation levels*): Corresponden a niveles de protección ecológicos. Considera tres niveles de protección que corresponden a 1) áreas de significancia ecológica (protección del 99% de las especies) 2) residenciales o espacio públicos (protección del 80% de las especies) 3) comerciales o industriales (protección del 60% de las especies). Los EILs están planteados como la siguiente formula:

$$\text{EIL} = \text{ABC} + \text{ACL}$$

ABC: *Ambient background concentration* o nivel natural del suelo o “background”

ACL: *Added contaminant limit* o límite de contaminante adicional, lo que corresponde a la máxima concentración por sobre el background (ABC) que puede haber sin un riesgo ecológico.

Los ACL están definidos para cromo, cobre, níquel y zinc y dependen del pH, la capacidad de intercambio catiónico y el porcentaje de arcilla en el suelo.

1.2.4.2 Cálculo de valores background

Para definir el background NEPM se deben tomar muestras alejadas de influencia humana o en su defecto, se pueden modelar usando un algoritmo definido (Hamon, 2004)¹⁴ que depende de las concentraciones de hierro en el suelo (tomado como un elemento estable en el medio ambiente). Esto se realiza para cada investigación.

Los valores background se utilizan para establecer valores de remediación y para la evaluación de riesgos, aunque puede que estos incluso signifiquen que los valores aceptables para un sitio sean menores a los de referencia en el caso de que los background estén elevados.

¹⁴ Hamon, R. M. (2004). *Geochemical indices allow estimation of heavy metal background concentrations in soils*. *Global Biogeochemical Cycles*, pp. 1-6.

1.2.4.3 Metodología para derivación de niveles de referencia

La metodología para derivación de niveles de referencia está basada en ecuaciones y metodología derivadas por la USEPA para su programa de *superfunds* y *brownfields Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS)*¹⁵ que calculan niveles de riesgo para contaminantes umbral (cancerígenos) y no umbral (no cancerígenos). Esto se detalla en la revisión de la normativa de Estados Unidos. Para el caso del plomo se utiliza el modelo IEUBK de la USEPA conocido como el “*Blood lead model*” o modelo para plomo en la sangre, cuyo objetivo es modelar que las concentraciones en suelos no resulten en niveles de plomo en la sangre de los receptores sensibles (niños) sobre los 10 µg/dL. En el caso de los contaminantes cancerígenos, para estos se usa un umbral de incremento de riesgo de 10⁻⁵ o una probabilidad de 1 en 100.000 personas. Se indica que esto puede ser variado caso a caso, pero que un nivel de riesgo superior a 10⁻⁴ constituiría un riesgo inaceptable.

Se incluyen adicionalmente niveles de referencia para asbestos en el suelo, donde se diferencia los materiales “desmenuzables” o friables y “no desmenuzables” no-friable siendo los primeros de mayor riesgo.

Se detallan más abajo las ecuaciones principales usadas por la normativa australiana en la derivación de niveles de referencia para las principales vías de exposición consideradas. La numeración de las ecuaciones corresponde a como están indicadas por la NEPC.

Ingesta de suelo

Mediante el uso de la ecuación a continuación de la NEPC (2013, Programa B7, Apéndice B, Sección 1.3.1), los factores sitio-específicos asociados a la biodisponibilidad oral (BA_o) e ingesta preexistente oral/ dermal (BI_o) se consideran de la siguiente manera:

$$HIL_{ingesta} \text{ (mg / kg)} = \frac{(TRV_o (100\% - BI_o)) \times BW_C \times AT_T}{IR_{sc} \times BA_o \times CF \times EF \times ED} \quad \text{Ecuación 3}$$

donde:

- HIL = Nivel de investigación para la salud como definido por NEPC (2013)
- TRV_o = Valor de toxicidad referencial relevante a la cuantificación de ingestas orales (mg/kg/al día para contaminantes umbrales)
- BI_o = Ingesta background relevante a exposición oral/dermal (de fuentes distintas a suelo, que incluye agua, aire y productos de consumo donde corresponda) (como % del TRV_o)
- IR_{sc} = Índice de ingestión de suelo/polvo para niños pequeños (HILs A, B and C) y adulto (HIL D) (mg/día)
- BA_o = Biodisponibilidad oral (sin unidad de medida, expresado como fracción de 1)
- CF = Factor de conversión de 1x10⁻⁶ para convertir mg a kg
- EF = Frecuencia de exposición (días/año)
- ED_c = Duración de exposición para niños pequeños (HILs A, B and C) y adulto (HIL D) (años)
- BW_c = Peso corporal para niños pequeños (HILs A, B and C) y adulto (HIL D) (kg)

¹⁵ Disponible en: <https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-rags-part>

AT_T = Tiempo promedio para contaminantes con umbral (días, = ED x 365 días)

Contacto dermal

Utilizando la siguiente ecuación de la NEPC (2013, Programa B7, Apéndice B, Sección1.3.2), los factores sitio-específicos asociados a la ingesta oral y dermal background (BI_o) se considerarían de la siguiente manera:

$$HIL_{\text{dermal}} \text{ (mg/kg)} = \frac{(TRV_D(100\% - BI_o)) \times BW_C \times AT_T}{SA_C \times AF \times DAF \times CF \times EF \times ED_C} \quad \text{Ecuación 6}$$

donde:

- HIL = Nivel de investigación para la salud como definido por NEPC (2013)
- TRV_D = Valor de toxicidad referencial relevante a la cuantificación de ingesta dermal (como mg/kg/día para contaminantes con umbral)
- BI_o = Ingestas background relevantes a exposición oral/dermal (de fuentes distintas a suelo, que incluye comida, agua, aire y productos de consumo donde relevante) (fracción relevante al % asignado a la ingesta background)
- SA_C = Área de piel expuesta para niños pequeños (HILs A, B and C) y adulto (HIL D)(cm^2)
- AF = Factor de adherencia tierra a piel ($mg/cm^2/día$)
- DAF = Factor de absorción dermal (específico para cada compuesto/elemento químico) (sin unidad)
- CF = Factor de conversión de 1×10^{-6} para convertir mg a kg
- EF = Frecuencia de exposición (días/año)
- ED_C = Duración de exposición para niños pequeños (HILs A, B and C) y adulto (HIL D) (años)
- BW_C = Peso corporal para niños pequeños (HILs A, B and C) y adulto (HIL D) (kg)
- AT_T = Tiempo promedio para contaminantes con umbral (días, = ED x 365 días)

Inhalación de Polvo

Usando la siguiente ecuación de la NEPC (2013, Programa B7, Apéndice B, Sección1.3.3), los factores específicos al sitio asociados a la ingesta preexistente por inhalación (BI_i) y factores de emisión de partículas (PEF), se considera:

$$HIL_{\text{dust}} \text{ (mg/kg)} = \frac{(TRV_i(100\% - BI_i)) \times AT_T}{\left[\left[\frac{1}{PEF_o} \times ET_{co} \right] + \left[\frac{1}{PEF_i} \times TF \times ET_{ci} \right] \right] \times RF \times EF \times ED_C} \quad \text{Ecuación 9}$$

donde:

- HIL = Nivel de investigación para la salud como definido por NEPC (2013)

TRV _i	= Valor de toxicidad referencial relevante a la cuantificación de absorción por inhalación (como mg/m ³)
Bl _i	= absorción background relevantes a exposición por inhalación (de fuentes distintas a suelo, que incluye comida, agua, aire y productos de consumo donde es relevante) (fracción relevante al % asignado a la ingesta background)
PEF _{i,o}	= Factor de emisión de partículas (or carga de polvo) para aire exterior outdoor (O) o interior indoor (I) (m ³ /kg)
ET _{ci,co}	= Tiempo de exposición outdoor (O) o indoor (I) para niños pequeños (HILs A, B and C) y adulto (HIL D) (horas/día)
TF	= Factor de transporte de polvo indoor (sin unidad)
RF	= Factor de retención pulmonar relevante a la inhalación de polvo en el sitio (sin unidad)
EF	= Frecuencia de exposición (días/año)
ED _c	= Duración de exposición para niños pequeños (HILs A, B and C) y adulto (HIL D) (años)
AT _T	= Tiempo promedio para contaminantes con umbral (horas, = ED x 365 días x 24 horas)

Consumo de productos caseros

Para este punto del análisis, se considerará el potencial de contribución de los productos caseros (HGP) a la ingesta de As en niveles llevados al peor escenario posible, donde la proporción total de la dieta sería 35% vegetales y frutas, 25% carnes avícolas y 200% huevos.

Utilizado las siguientes ecuaciones de la NEPC (2013, Programa B7, Apéndice B, Sección 1.3.5), los factores sitio-específicos asociados a la ingesta oral/dermal (Bl_o) se consideran:

$$HIL_{\text{plant uptake}} \text{ (mg/kg)} = \frac{(TRV_o(100\% - Bl_o)) \times BW_C \times AT_T}{UF_V \times EF \times ED_C} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$UF_{VC} \text{ (kg/day)} = F_{HG} \times ([CF_{\text{tuber}} \times C_{\text{tuber}}] + [CF_{\text{root}} \times C_{\text{root}}] + [CF_{\text{green}} \times C_{\text{green}}] + [CF_{\text{fruit}} \times C_{\text{fruit}}]) \quad \text{Ecuación 16}$$

donde:

HIL	= Nivel de investigación para la salud como definido por NEPC (2013)
TRV _o	= Valor de toxicidad referencial relevante a la cuantificación de ingestas orales (as mg/kg/al día para contaminantes con umbral);
Bl _o	= Ingestas background relevantes a exposición oral/dermal (de fuentes distintas a suelo, que incluye comida, agua, aire y productos de consumo donde es relevante) (fracción relevante al % asignado a la ingesta background)
UF _{VC}	= Factor de absorción de plantas, calculadas para el consumo de productos cultivados en casa consumidos por niños pequeños (kg/día)
CF _y	= Factores de concentración en plantas relevantes para tipo de producción (y) (específico de cada compuesto/elemento químico) (mg/kg peso de productos frescos a mg/kg peso seco de suelo)
C _y	= Índice de consumo por cada tipo de alimento (y) (kg/día)

- F_{HG} = Fracción de todas las frutas y vegetales consumidas que son producidas en casa (sin unidad)
 EF = Frecuencia de exposición (días/año)
 ED_C = Duración de exposición para niños pequeños (años)
 BW_C = Peso corporal de un niño pequeño (kg)
 AT_T = Tiempo promedio para contaminantes con umbral (días, = $ED \times 365$ días)

Para considerar el consumo de productos caseros de carne y huevos, fue introducido el término $UF_{PM\&E}$ (Factor de absorción para aves y huevos). Las ecuaciones 15a y 16a se entregan a continuación, con planillas de cálculo incluidas en el Adjunto 1:

$$HIL_{HGP} \text{ (mg/kg)} = \frac{(TRV_o (100\% - BI_o)) \times BW_C \times AT_T}{(UF_V + UF_{PM\&E}) \times EF \times ED_C} \quad \text{Ecuación 15a}$$

$$UF_{PM\&E} = F_{HG} \times (C_{PM} \times UF_{VC}) + F_{HG} \times (C_E \times UF_{VC} \times BCF) \quad \text{Ecuación 16a}$$

donde:

- HIL = Nivel de investigación para la salud como definido por NEPC (2013)
 TRV_o = Valor de toxicidad referencial relevante a la cuantificación de ingestas orales (as mg/kg/al día para contaminantes con umbral);
 BI_o = Ingestas background relevantes a exposición oral/dermal (de fuentes distintas a suelo, incluye comida, agua, aire y productos de consumo donde es relevante) (fracción relevante al % asignado a la ingesta background)
 UF_{VC} = Factor de absorción de plantas, calculadas para el consumo de productos caseros para niños pequeños (kg/día)
 $UF_{PM\&E}$ = Factor de absorción de aves y huevos calculadas para el consumo de productos caseros para niños pequeños (kg/día)
 C_{PM} = Índice de consumo de carne avícola (kg/día)
 C_E = Índice de consumo de huevos (kg/día)
 F_{HG} = Fracción de todas las frutas y vegetales consumidas que son producidas en casa (sin unidad)
 EF = Frecuencia de exposición (días/año)
 ED_C = Duración de exposición para niños pequeños (años)
 BW_C = Peso corporal de niño pequeño (kg)
 AT_T = Tiempo promedio para contaminantes con umbral (días, = $ED \times 365$ días)
 BCF = Factor de bio-concentración para huevos (0.25%)

Empleando la siguiente ecuación de la NEPC (2013, Programa B7, Apéndice B, Sección 1.2), los factores sitio-específicos asociados a la biodisponibilidad (BA_o) y la ingesta/absorción oral/dermal preexistente (BI_o and BI_i), junto al consumo de HGP, pueden considerarse para todas las vías de ingesta:

$$HIL(mg/kg) = \frac{1}{\left[\frac{1}{HIL_{ingestion}} \right] + \left[\frac{1}{HIL_{dermal}} \right] + \left[\frac{1}{HIL_{HGP\ uptake}} \right] + \left[\frac{1}{HIL_{dust}} \right]} \quad \text{Ecuación 2}$$

donde:

- $HIL_{ingestion}$ = Nivel de suelo asociada a la ingesta de suelo y polvo para niños pequeños, referencia **Ecuación 3e**
- HIL_{dermal} = Nivel de suelo asociada a absorción dermal de contaminantes en tierra / polvo para niños pequeños, referencia **Ecuación 6**
- $HIL_{HGP\ uptake}$ = Nivel de suelo asociada a ingesta de contaminantes en productos caseros para niños pequeños, referencia **Ecuaciones 15, 15a, 16 and 16a**
- HIL_{dust} = Nivel de suelo asociada a inhalación de contaminantes en polvo para niños pequeños, referencia **Ecuación 9**

Nota: notar que los números de las ecuaciones hacen referencia a la normativa australiana.

1.2.4.4 Metodología para la evaluación de riesgos

La metodología para la evaluación de riesgos sigue las ecuaciones determinadas en la sección anterior donde se varían los factores de exposición, toxicidad, biodisponibilidad entre otros. Un resumen de los procesos de Evaluación de Riesgos a la Salud Humana (HHRA) se presenta en la Figura 5.

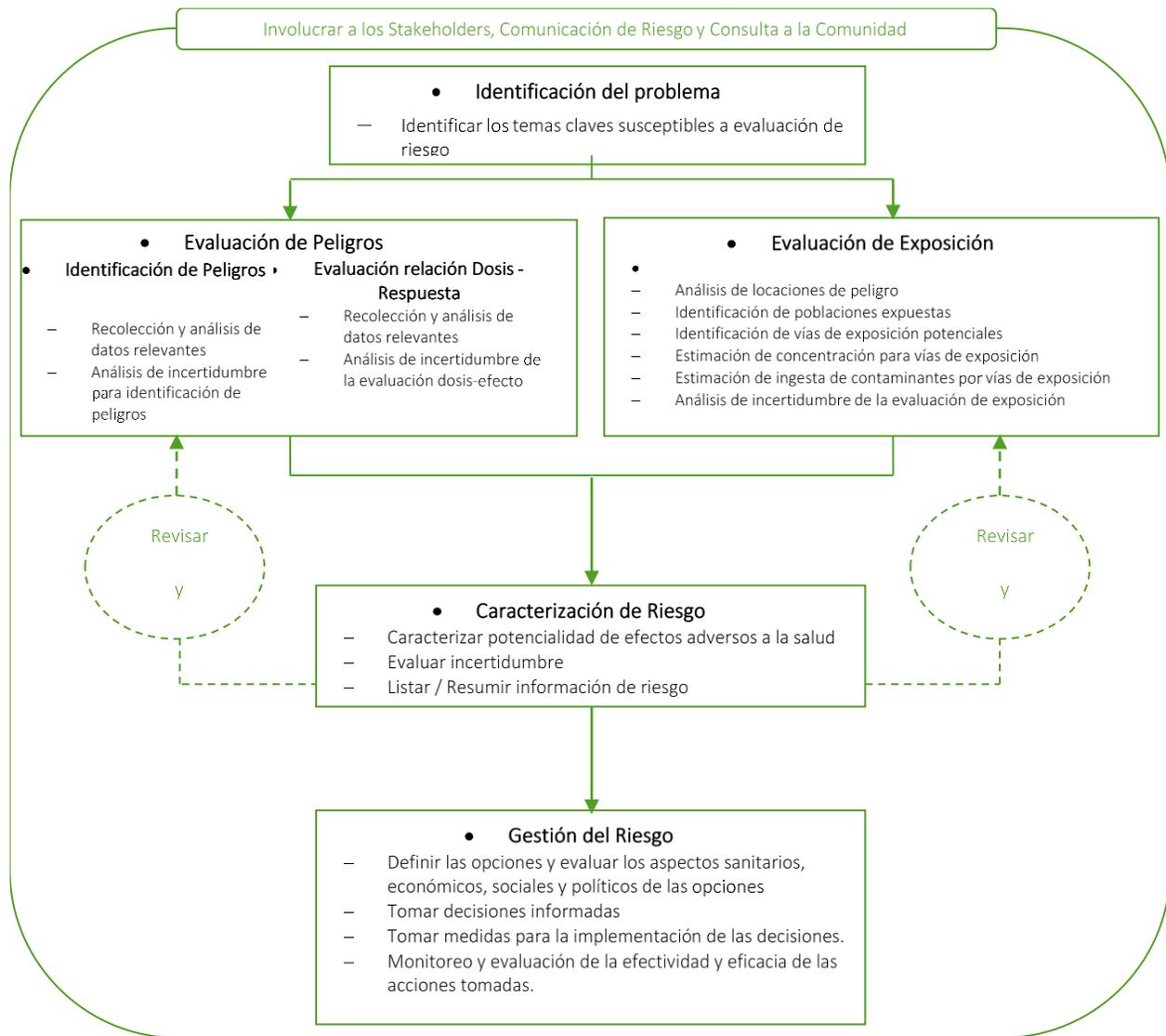


Figura 5 - Proceso de Evaluación de riesgos

1.2.4.5 Control de calidad

Finalmente, el estándar australiano AS 4482.1-2005 *Guide to the Investigation and Sampling of Sites with Potentially Contaminated Soil- Non-volatile and Semi-volatile Compounds* contiene medidas que deben ser tomadas para asegurar la calidad de una investigación ambiental. Esto incluye técnicas de muestreo, descontaminación, el uso de duplicados en terreno, blancos de campo, blancos de limpieza entre otros controles.

1.3 Brasil

El sistema de gestión de sitios contaminados de Brasil consta de los siguientes instrumentos normativos:

- Resolución N° 420 de 2009 (*Resolução N° 420 2009*) del Ministerio de Medio Ambiente, Consejo Nacional de Medio Ambiente – Ley Federal que dispone pautas para la gestión de sitios contaminadas y valores de referencia
- Ley N°13.577 de 2009 (*Lei N° 13.577*) de la Asamblea Legislativa del Estado de Sao Paulo – Ley estatal (Sao Paulo) que es en gran parte equivalente a la resolución federal N° 420
- Decisión del Consejo N° 195-2005-E, 2005 (*Decisão de Directoria N° 195-2005-E*) de la Empresa de Tecnología de Saneamiento Ambiental (*Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental*) o CETESB – Dispone valores del suelo y agua en el estado de Sao Paulo indicando valores background (referencia de calidad).
- Valores de Referencia para Suelo y Agua Subterránea 2014 (*Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea no Estado de São Paulo 2014*) del CETESB.

El proceso de evaluación cuenta con fases de investigación definidas para cada etapa (identificación, diagnóstico e intervención). Es dentro de la fase de diagnóstico donde, a través de la comparación de resultados con niveles de referencia, se determina la contaminación de un sitio.

Se definen valores de referencia para riesgo de la salud, valores precautorios y background. Se indican también en la normativa valores de referencia para el agua subterránea.

Un esquema del sistema de gestión Brasil se presenta en la Figura 6 y las siguientes secciones detallan aspectos normativos y técnicos relevantes.

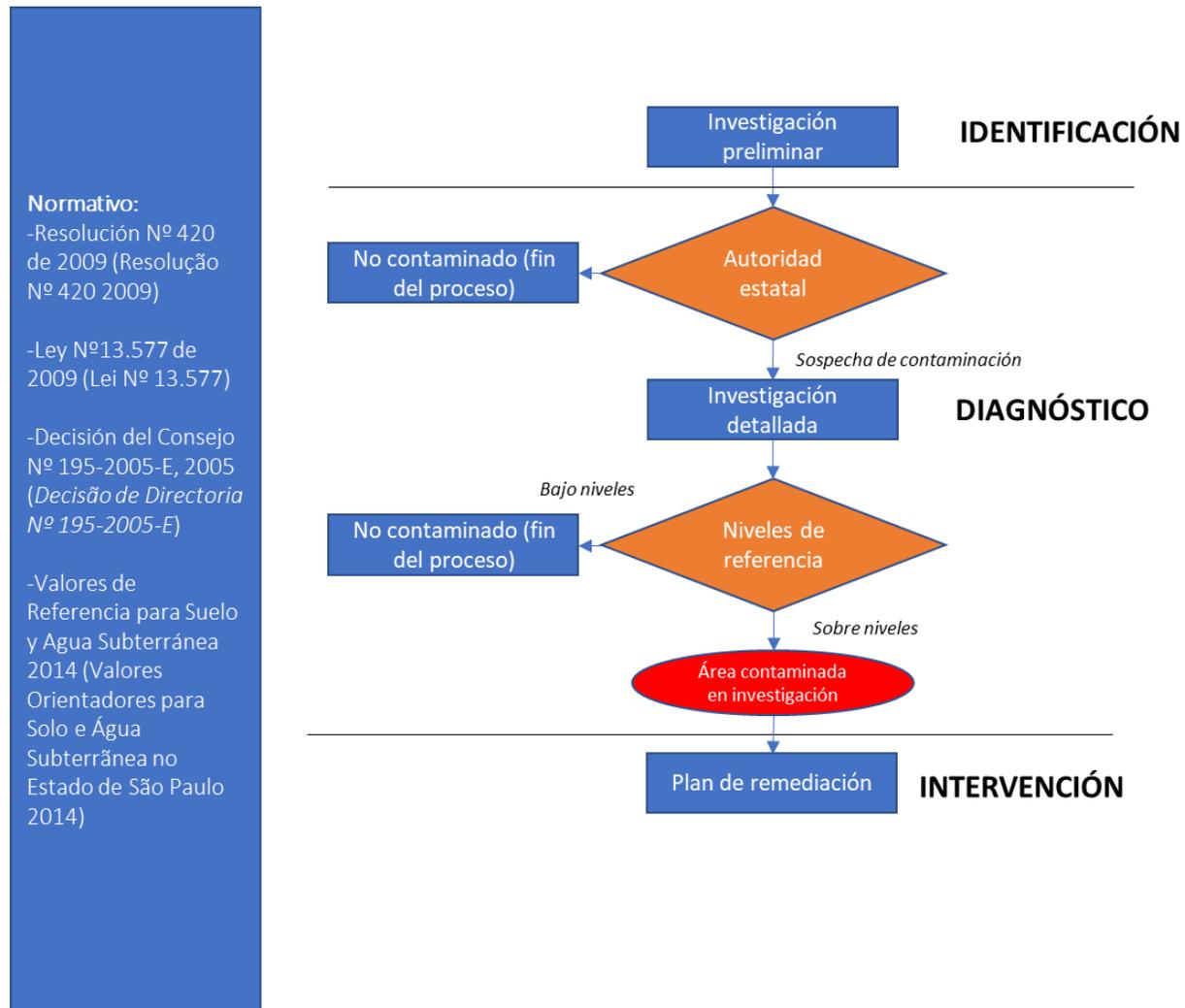


Figura 6 - Esquema de gestión de la norma brasileña
Fuente: Elaboración propia basado en la norma brasileña

1.3.1 Marco normativo nacional

Específicamente en materia de suelos, corresponde al poder legislativo federal dictar normas generales, las que son complementadas con normas particulares dictadas por cada Estado.

La Ley más importante en la materia es la Nº 6.938, que establece la Política Nacional del Medio Ambiente.

A su vez, los municipios cuentan con las facultades para "... legislar sobre asuntos de interés local ... suplementar la ley federal y estadual (cuando sea preciso) y organizar ... los servicios públicos de interés local ..." (art. 29).

En cuanto a la institucionalidad, esta ley establece un organismo consultivo y deliberativo llamado Consejo Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) y como órgano central al Instituto Brasileño del Medio Ambiente y Recursos renovables (IBAMA), todo ello sin perjuicio de los organismos existentes en el nivel estatal, el cual ejecuta y fiscaliza la política y normativa ambiental.

Resulta relevante señalar que Brasil cuenta con una Ley Federal que establece la Política Nacional de Residuos Sólidos, en donde son clasificados los residuos por normas técnicas y reglamentos, en donde se incluyen elementos de riesgo ambiental y de la salud humana.

1.3.1.1 Sistema de gestión de sitios contaminados

La resolución nº 420/2009 del Consejo Nacional de Medio Ambiente, según su artículo 1 tiene por objeto proporcionar criterios y valores orientativos para la calidad del suelo con presencia de sustancias químicas y establece pautas para la gestión ambiental de áreas contaminadas por estas sustancias como resultado de actividades antrópicas. Esta resolución fija valores orientadores de calidad del suelo, fija los estándares de control y prevención de calidad del suelo, entrega directrices para la gestión de sitios contaminados, señalando que para el manejo de áreas contaminadas, la agencia ambiental competente debe instituir procedimientos y acciones de investigación y gestión, que incluyan los siguientes pasos:

I - Identificación: en esta etapa se identifican las áreas sospechosas de estar contaminadas, sobre la base de una evaluación preliminar, y para aquellas en las que exista evidencia de contaminación se realiza una investigación confirmatoria, a cargo del responsable, de acuerdo con las normas técnicas o procedimientos actuales.

II - Diagnóstico: etapa que incluye investigación detallada y evaluación de riesgos, con cargo al responsable, según las normas o procedimientos técnicos vigentes, con el fin de subsidiar en la etapa de intervención, después de una investigación confirmatoria que ha identificado sustancias químicas en concentraciones por encima del valor de investigación.

III - Intervención: etapa de realización de acciones de control para eliminar el peligro o reducción, a niveles tolerables, de los riesgos identificados en la etapa de diagnóstico, así como el seguimiento de la efectividad de las acciones tomadas, considerando el uso actual y futuro del área, de acuerdo a las normas técnicas o procedimientos existentes.

Para el cumplimiento de trámites y acciones en la gestión de áreas contaminadas, la agencia ambiental competente debe:

I - definir, junto con otros organismos, acciones de emergencia en casos de identificación de condiciones peligrosas;

II - definir los procedimientos de identificación y diagnóstico;

III - evaluar el diagnóstico ambiental;

IV - promover la comunicación de riesgos después de declarar el área como contaminada bajo intervención;

V - evaluar, junto con otros organismos, las propuestas de intervención en el área;

VI - vigilar, junto con otros órganos, emergencias, intervenciones y seguimiento;

VII - evaluar la efectividad de las acciones de intervención; y

VIII - Comunicar la situación del área al propietario, a la Oficina del Registro de la Propiedad del Distrito donde se inserta la propiedad, así como al registro de los ayuntamientos y del Distrito Federal.

1.3.2 Requerimientos técnicos para una investigación de sitio contaminado

Los requerimientos para las diferentes fases de una investigación y remediación de un sitio contaminado se encuentran descritos en las leyes:

- Resolución Nº 420 de 2009 (*Resolução Nº 420 2009*) del Ministerio de Medio Ambiente, Consejo Nacional de Medio Ambiente – Ley Federal que dispone pautas para la gestión de sitios contaminadas y valores de referencia
- Ley Nº13.577 de 2009 (*Lei Nº 13.577*) de la Asamblea Legislativa del Estado de Sao Paulo – Ley estatal (Sao Paulo) que es en gran parte equivalente a la resolución federal Nº 420
- Decisión del Consejo Nº 195-2005-E, 2005 (*Decisão de Directoria Nº 195-2005-E*) de la Empresa de Tecnología de Saneamiento Ambiental (*Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental*) o CETESB – Dispone valores del suelo y agua en el estado de Sao Paulo indicando valores background (referencia de calidad).
- Valores de Referencia para Suelo y Agua Subterránea 2014 (*Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea no Estado de São Paulo 2014*) del CETESB.

La Resolución federal Nº420 y la Ley Nº13.577 del estado de Sao Paulo, son en gran parte idénticas, salvo definiciones puntuales y dictan las fases de un estudio de sitio contaminado. Estas describen el proceso en las siguientes fases:

- Investigación preliminar
- Investigación confirmatoria
- Investigación detallada
- Plan de remediación

Las fases en la investigación y remediación de un sitio contaminado bajo legislación brasileña se muestran en la Figura 7.



Figura 7 - Fases en la investigación y remediación de un sitio contaminado bajo legislación brasileña
Fuente: Elaboración propia

1.3.2.1 Investigación preliminar / Investigación confirmatoria (Paso I – Identificación)

La investigación preliminar está indicada donde exista evidencia de contaminación y la realiza la autoridad ambiental. Esta evaluación está basada en información histórica del sitio y en una inspección del terreno con el objetivo de encontrar evidencias de una posible contaminación. Si la investigación preliminar encuentra evidencia de un posible impacto, es el responsable del terreno quien debe realizar una investigación confirmatoria para determinar si existe o no contaminación en el sitio. De ser así, se ingresa el sitio en el registro de sitios contaminados y no se puede cambiar el uso de suelo hasta que la investigación/remediación culmine.

Este paso se determina como “Identificación” dentro de la Ley Nº13.577 del estado de Sao Paulo.

1.3.2.2 Investigación confirmatoria / Investigación detallada (Paso II – Diagnóstico)

Posteriormente de encontrarse contaminación, se debe realizar una investigación detallada para conocer el alcance de la contaminación y establecer el riesgo a posibles receptores mediante un proceso formal de evaluación de riesgo a la salud y medio ambiente.

El área se clasificará como *Área Contaminada en Investigación* cuando exista evidencia de la presencia de contaminantes en el suelo o en las aguas subterráneas en concentraciones superiores a los Valores de Intervención, lo que indica la necesidad de acciones para protegerlos receptores de riesgo.

Cabe notar que la Resolución Nº 420 indica que en caso de identificación de hidrocarburos en fase libre, la evaluación de riesgo debe realizarse después de su eliminación o reducción a niveles mínimos aceptables por el organismo ambiental competente.

Este paso se determina como “Diagnóstico” dentro de la Ley Nº13.577 del estado de Sao Paulo.

1.3.2.3 Plan de remediación (Paso III – Intervención)

En esta etapa se determinan acciones para controlar o eliminar los riesgos identificados anteriormente hasta niveles tolerables considerando el uso actual y futuro de la zona. Estas acciones deben ser detalladas en un plan de remediación que contenga un cronograma de las fases y plazos respectivos para su implementación, y debe ser aprobado por la autoridad ambiental.

Se debe presentar junto al plan de remediación una garantía de al menos 125% de los costos estimados de la ejecución de este.

1.3.3 Muestreo

El muestreo debe adoptar procedimientos de toma, manipulación, conservación, envasado y transporte según normas nacionales e internacionales.

La Resolución Nº 420 indica que en caso de muestreo por aplicación de productos plaguicidas o fertilizantes, la muestra debe ser realizada en el periodo relevante, vale decir, dentro del periodo activo del plaguicida o durante la cosecha para los fertilizantes.

1.3.4 Niveles de referencia

De acuerdo a la Decisión del Consejo Nº 195-2005-E del Estado de Sao Paulo los niveles de referencia están separados en los siguientes:

Valor de referencia de calidad – VRQ: es la concentración de una sustancia dada en el suelo o agua subterránea, bajo la cual se define un suelo como limpio o la calidad natural del agua subterránea. Se determina en base a la interpretación estadística de análisis fisicoquímicos de muestras de diferentes tipos de suelo y muestras de aguas subterráneas de varios acuíferos del Estado de São Paulo. Debe ser utilizado como referencia en acciones para prevenir la contaminación de suelos y aguas subterráneas y para controlar áreas contaminadas.

Valor de prevención – VP: es la concentración de una sustancia dada, por encima de la cual pueden ocurrir cambios dañinos en la calidad del suelo y las aguas subterráneas. Este valor indica la calidad de un suelo capaz de sostener sus funciones primarias, protegiendo los receptores ecológicos y la calidad de las aguas subterráneas. Se determinó para suelo en base a pruebas con receptores ecológicos. Debe ser utilizado para disciplinar la introducción de sustancias en el suelo y, en caso de superarse, la continuidad de la actividad será sometida a una nueva evaluación, siendo los responsables de la introducción de cargas contaminantes el seguimiento de los impactos resultantes.

Valor de intervención - VI es la concentración de una sustancia determinada en el suelo o las aguas subterráneas por encima de la cual existen riesgos potenciales, directos o indirectos, para la salud humana, considerado un escenario de exposición genérico. Para el suelo, se calculó mediante un procedimiento de evaluación de riesgos para la salud humana para escenarios de exposición agrícola, residencial e industrial. Para las aguas subterráneas, los valores que causan riesgo para la salud humana se enumeraron como valores de intervención enumerados en la Ordenanza 518, de 26 de marzo de 2004, del Ministerio de Salud - MS, complementada con los estándares de consumo de la Guía de la Organización Mundial de la Salud 2004, o calculado según la adaptación de la metodología de la OMS utilizada para derivar estos estándares.

Dentro de los valores de intervención se encuentran definidos los siguientes usos de suelo (escenarios de exposición):

- Agrícola
- Residencial
- Industrial

Existen niveles de referencia para una gran variedad de compuestos y elementos que abarcan los siguientes grandes grupos:

- Metales y metaloides (As, Cr, Zn, Pb, U, etc.)
- Hidrocarburos aromáticos volátiles
- Hidrocarburos aromáticos policíclicos
- Bencenos clorados
- Etanos clorados
- Metanos clorados
- Fenoles no clorados
- Ésteres ftálicos
- Plaguicidas organoclorados
- PCBs

Los niveles de referencia se presentan en el Anexo 1 del presente informe.

1.3.4.1 *Uso de los background*

En cuanto a los background en la normativa brasileña, la Resolución Nº 420 (federal) indica que cada estado será responsable de calcular estos backgrounds los que corresponden a los valores de referencia de calidad (VRQ), listados por la *Decisión del Consejo Nº 195-2005-E* y los *Valores Orientadores para Solo e Água Subterranea no Estado de Sao Paulo 2014*.

Como indicado anteriormente, el VRQ es la concentración de una sustancia dada en el suelo o agua subterránea, que define un suelo como limpio o la calidad natural del agua.

1.3.5 *Evaluación de riesgos a la salud - Human Health Risk Assessment (HHRA)*

La legislación brasileña (tanto federal como estatal) menciona el proceso de evaluación de riesgos a la salud (y medio ambiente), sin embargo no indica metodología para realizar este. Sin embargo, la CETESB del Estado de Sao Paulo, publica en su página web hojas de cálculo para la evaluación de riesgos en áreas contaminadas¹⁶. Estos corresponden en los modelos RAGS de la USEPA.

¹⁶ Disponible en: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/documentacao/planilhas-para-avaliacao/>

1.4 Canadá

1.4.1 Marco normativo nacional

En British Columbia, un sitio contaminado es definido como una porción de terreno en el cual el suelo, las aguas subterráneas o el sedimento contiene una sustancia o residuos peligrosos en una cantidad o concentración que excedente estándares ambientales de calidad provinciales. Un sitio está contaminado si no es apto para usos específicos de tierra, agua o sedimento.

En la materia, la Ley de Gestión Ambiental (*Environmental Management Act*) es la ley principal que regula los sitios contaminados en la provincia. Entró en vigencia en julio de 2004, reemplazando la Antigua Ley de Gestión de Residuos. Establece estándares para la identificación, evaluación y remediación de sitios contaminados. También existen otras disposiciones establecidas en el Reglamento de Sitios Contaminados.

1.4.1.1 Entidad fiscalizadora

En British Columbia, la autoridad relevante para la administración y gestión de los sitios contaminados es el Ministerio del Medio Ambiente.

1.4.1.2 Sistema de gestión de sitios contaminados

La Ley de Gestión Ambiental establece un proceso de cinco pasos para hacerse cargo de los sitios contaminados:

- Proyección;
- Investigación y determinación/decisión;
- Planificación;
- Remediación; y
- Evaluación/Fiscalización.

Proyección: La revisión de un sitio en particular se realiza con la información disponible y no requiere consultores. Se desarrolla cuando el gobierno local recibe una solicitud para subdividir, zonificar, desarrollar o demoler una estructura o realizar una remoción de suelo (o cuando el Director de Gestión de Residuos ordena una). Un inspector municipal determinará si es necesario profundizar con miras a una investigación.

Investigación y determinación/decisión: Investigaciones preliminares evalúan la posibilidad de sitios contaminados a través de revisión de expedientes de títulos de la propiedad, visitas a terreno y análisis histórico. Investigaciones detalladas confirman o refutan la potencial contaminación del sitio mediante muestreo y análisis químico.

En base a la investigación en cuestión se determinará si un sitio se encuentra, o no, contaminado.

Planificación: Lo primero que corresponderá vendrá determinado por encontrar a los potencialmente responsables, con un amplio margen de discrecionalidad por parte de la autoridad, siempre bajo el ámbito de acción del principio “El que contamina paga”. En la materia, son de especial atención las siguientes instituciones:

- (i) Contribuyente menor: la autoridad puede determinar que una persona solamente contribuyó una pequeña fracción de la contaminación, protegiéndolo, en parte, de las actividades de remediación;

(ii) Orden de remediación: que un sitio se encuentre contaminado no conlleva que necesariamente deba ser remediado a la brevedad. De hecho, la mayor parte de los sitios no tendrán una orden de remediación inmediata;

(iii) La existencia de acuerdos de remediación voluntaria; y,

(iv) Las aprobaciones preliminares, que permiten a futuros desarrolladores obtener una autorización preliminar a las actividades de remediación antes que sean ejecutadas. Lo anterior, por ejemplo, con el objeto de obtener financiamiento para la ejecución de su proyecto posterior.

Remediación: La legislación establece un marco general para dos tipos de remediación de contaminación. En el primero, (i) la contaminación puede ser removida de modo tal que no existe más en el sitio, aplicándose los estándares numéricos para suelo, agua y sedimento, o bien, (ii) la contaminación puede ser contenida y administrada en el mismo sitio, cuando los estándares de evaluación de riesgo aplican.

Evaluación y fiscalización: El proceso termina con el otorgamiento de un certificado de cumplimiento, el que dependerá en sus características si la remediación fue lograda satisfaciendo las normas ambientales, o bien, los estándares de evaluación de riesgo. En ambos casos, garantías financieras pueden ser exigidas y, normalmente, se requerirá un reporte confirmatorio de la remediación.

1.4.2 *Requerimientos técnicos para una investigación de sitio contaminado*

Los requerimientos regulatorios para las diferentes fases de una investigación y remediación de un sitio contaminado se encuentran descritos en la ley de la provincia de British Columbia *Environmental Management Act, Contaminated Sites Regulation (EMA Contaminated Sites)*¹⁷.

Adicionalmente, la entidad federal *Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME)*, recomienda requerimientos técnicos para la investigación de sitios y estándares de referencia para la protección del riesgo a la salud y medio ambiente, sin embargo, son las provincias las que determinan si seguirlos o generar sus propios estándares.

Según la *EMA Contaminated Sites* de British Columbia, se describe un proceso basado en las siguientes fases:

- Investigación preliminar (*Preliminary Investigation*)
- Investigación detallada (*Detailed Investigation*)
- Plan de remediación
- Confirmación de la Remediación

En la Figura 8 se detallan las fases en la investigación y remediación de un sitio contaminado bajo legislación canadiense.

¹⁷ Disponible en: https://www.bclaws.ca/civix/document/id/complete/statreg/375_96_01



Figura 8 - Fases en la investigación y remediación de un sitio contaminado bajo legislación canadiense.

Fuente: Elaboración propia

1.4.2.1 Investigación preliminar

La investigación exploratoria es mandada por la autoridad (al dueño o usuario de un sitio) si esta tiene sospechas fundadas de que el sitio puede estar contaminado o contiene sustancias que pueden causar efectos adversos a la salud o el medio ambiente. La investigación debe ser realizada por personas designadas como calificadas por la autoridad para realizar esta actividad.

En la práctica, la necesidad de iniciar el proceso se hace presente cuando la autoridad nota cualquiera de estas condiciones (Ministry of Environment, 2009)¹⁸:

- Cuando ha ocurrido un derrame o reclamo de una posible contaminación
- En el caso de una aplicación por cambio de uso de suelo, demolición o reubicación de suelo
- Cuando han ocurrido ciertas actividades industriales o comerciales en un sitio
- Cuando se recibe información sobre un proceso de remediación que está ocurriendo sin haber informado a la autoridad
- Cuando ocurre un proceso de bancarrota de una propiedad
- Cuando se recibe un requerimiento de algún servicio relacionado con un sitio contaminado.

La investigación preliminar bajo la normativa de British Columbia (EMA Contaminated Sites) consta de dos etapas:

¹⁸ Ministry of Environment. (2009). *Facts on Contaminated Sites*. Obtenido de <https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/air-land-water/site-remediation/docs/fact-sheets/fs01.pdf>

- La primera etapa incluye una revisión histórica, entrevistas con los usuarios del sitio, empleados del gobierno y cualquier persona que pudiese tener conocimiento del sitio, información de las actividades que pudiesen haber sido desarrolladas históricamente y una inspección visual de la propiedad y estructuras.
- La segunda etapa incluye el muestreo de matrices ambientales, análisis en terreno y/o en laboratorio, además de evaluación de las concentraciones encontradas con respecto a los estándares ambientales determinados por la legislación.

Existe también la posibilidad de realizar ambas etapas en secuencia o combinarlas.

1.4.2.2 *Investigación detallada*

De acuerdo a la Ley EMA Contaminated Sites de British Columbia, la investigación detallada de sitio puede ser realizada después de la investigación preliminar o puede combinarse el proceso de la investigación preliminar con la investigación detallada.

La investigación detallada debe proveer de suficiente información como para realizar una evaluación de riesgos y de ser necesario, desarrollar un plan de remediación. En esencia esta debe:

- Identificar las sustancias que existen en las matrices ambientales en el sitio
- Identificar áreas específicas contaminadas en el sitio además de la migración de esta
- Describir la relación entre la investigación preliminar y los resultados de la investigación detallada
- Detallar los métodos de investigación utilizados para las distintas matrices además de los niveles de referencia utilizados.

1.4.2.3 *Plan de remediación y confirmación de la remediación*

El plan de remediación debe contener lo siguiente:

- La delimitación horizontal y vertical de la contaminación presentada en mapas, cortes y otras representaciones gráficas.
- Las alternativas de remediación que se consideraron para manejar la contaminación en el sitio y los métodos de evaluación usados.
- El o los métodos seleccionados para cumplir con los estándares numéricos o de riesgo que se indican en la regulación.
- La clasificación e identificación de suelos, aguas, vapores, sedimentos que quedarían en el sitio
- Un cronograma para la realización de los trabajos.
- Los métodos propuestos para confirmar que la remediación se llevó a cabo de manera exitosa.
- Métodos para asegurar la seguridad del proceso y toda consulta pública realizada con respecto a la remediación propuesta.

El informe de confirmación de la remediación debe contener los resultados de los análisis establecidos y descripción de las actividades de remediación. Se debe incluir también detalles de las matrices que quedaron en el sitio.

1.4.3 Muestreo

En cuanto al número de puntos de muestreo, no se especifica un mínimo, sin embargo, (Canadian Council of Ministers of the Environment, 1993)¹⁹ se indica que estos deben ser suficientes para satisfacer los objetivos de calidad de los datos definidos para la investigación.

1.4.4 Niveles de referencia

La legislación de British Columbia define en general dos tipos de estándares para definir si existe riesgo (tanto a la salud como medioambiental) en un sitio por concentraciones en las diferentes matrices ambientales. Estos corresponden a:

- Estándares numéricos (“*numerical standards*”): Los que definen concentraciones aceptables de sustancias en las matrices. Dentro de estos están los siguientes:
 - Estándares numéricos de matriz (“*Matrix numerical standard*”), los que proveen referencias para diferentes condiciones de exposición (tanto como para protección de salud y medio ambiente)
 - Estándares numéricos genéricos (“*Generic numerical standards*”), los que proveen solo una condición de exposición para cada escenario. Están definidos donde no existen estándares de matriz.
 - Estándares numéricos sitio específicos, los que son derivados a través de ecuaciones que relacionan, datos del suelo y otra información específica para el sitio para protección de receptores.
 - Estándar preliminar del Director (“*Director’s interim standard*”), es un estándar transitorio fijado por el Director de Manejo de Residuos de British Columbia
- Estándares basados en riesgo (“*risk-based standards*”): Los que definen niveles de riesgo aceptables para la exposición de sustancias en los sitios.

Para estos estándares, están definidos 8 usos de suelo, los que corresponden a:

- Áreas abiertas naturales (bosques, praderas, etc. que tengan alto valor natural)
- Áreas abiertas modificadas (áreas anteriormente usadas para otros usos incluyendo industriales revertidas a bosques u otro espacio natural, o que se convertirán en estas según planificación)
- Agricultura
- Parque urbano
- Residencial de baja densidad
- Residencial de alta densidad
- Comercial
- Industrial

Se incluyen en el Anexo 1 del presente informe los estándares numéricos.

Dada la particularidad de los estándares numéricos de matriz, a continuación, se muestra un ejemplo, para el arsénico:

¹⁹ Canadian Council of Ministers of the Environment. (1993). *Guidance Manual on Sampling, Analysis, and Data Management for Contaminated Sites - Volume I: Main Report*. Winnipeg.

MATRIX 2 - NUMERICAL SOIL STANDARDS¹
ARSENIC (CHEMICAL ABSTRACT SERVICE NUMBER 7440-38-2)

COLUMN 1	COLUMN 2	COLUMN 3	COLUMN 4	COLUMN 5	COLUMN 6	COLUMN 7	COLUMN 8	COLUMN 9	Note
Site-specific Factor	Wildlands Natural (WL-N)	Wildlands Reverted (WL-R)	Agricultural (AL)	Urban Park (PL)	Residential Low Density (RL-LD)	Residential High Density (RL-HD)	Commercial (CL)	Industrial (IL)	2
HUMAN HEALTH PROTECTION									
Intake of contaminated soil	40	40	20	40	20	40	150	400	3,4
Groundwater used for drinking water	10	10	10	10	10	10	10	10	5
ENVIRONMENTAL PROTECTION									
Toxicity to soil invertebrates and plants	15	25	25	25	25	40	40	40	
Livestock ingesting soil and fodder			25						
Major microbial functional impairment			NS						6
Groundwater flow to surface water used by aquatic life									
Freshwater	10	10	10	10	10	10	10	10	5
Marine	10	10	10	10	10	10	10	10	
Groundwater used for livestock watering			10						5
Groundwater used for irrigation			10	10	10	10			5

Figura 9 - Ejemplo de estándar numérico de matriz
Estándar numérico de matriz para arsénico²⁰

La tabla anterior indica niveles de referencia en el suelo para la protección de diferentes factores, tales como para salud humana (por ingestión de suelo), salud humana (para protección de aguas subterráneas usadas para la bebida), además de una serie de factores medioambientales (toxicidad de invertebrados, ganadería, entre otros).

1.4.4.1 Uso de los background

En cuanto al uso de los background en la normativa canadiense, esta indica que un sitio no está contaminado si no contiene sustancia alguna superior al background local según la Ley EMA Contaminated Sites (Ministry of Environment, 2017)²¹

1.4.5 Evaluación de riesgos a la salud - Human Health Risk Assessment (HHRA)

La evaluación de riesgos se realiza de manera análoga a la metodología de la USEPA, y está aprobada para la definición de niveles de referencia específicos para la remediación de un sitio. Es importante notar que la ley no permite que un sitio sea declarado “no contaminado” si se establecen niveles de remediación usando

²⁰ Disponible en: https://www.bclaws.ca/civix/document/id/complete/statreg/375_96_00_multi#Schedule3

²¹ Ministry of Environment. (2017). *Technical Guidance on Contaminated Sites - Environmental Quality Standards*. Obtenido de Government of British Columbia: <https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/air-land-water/site-remediation/docs/technical-guidance/tg03.pdf>

metodologías de evaluación de riesgo. Sin embargo, permite el uso deseado si es que se cumplen los objetivos propuestos.

1.5 España a nivel estatal

1.5.1 Marco Normativo

La forma de gobierno en España es la monarquía parlamentaria y su territorio se encuentra dividido en 17 comunidades autónomas las cuales legislan de manera regional en muchos ámbitos.

En el caso de los suelos contaminados, existen dos leyes a nivel estatal:

- La Ley 22/2011, de 22 de julio²², de residuos y suelos contaminados, que en su título V, artículos 33 a 38 establece un marco general sobre la gestión de los suelos contaminados, afirmando la competencia en materia de suelos contaminados de las Comunidades Autónomas, estableciendo una jerarquía de responsabilidades en la contaminación de suelos y estableciendo como novedad frente a legislaciones anteriores el proceso de descontaminación voluntaria de suelos.
- REAL DECRETO 9/2005, de 14 de enero por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados. Este Real Decreto deriva las competencias de la gestión administrativa en materia de contaminación de suelos a las comunidades autónomas, dejando a criterio de las mismas el órgano de gobierno que se hará cargo. Además, establece criterios base para los estudios, pudiendo las comunidades autónomas generar una ley territorial sobre el real decreto. En la Figura 10 se encuentra el esquema de gestión de suelos contaminados definido en el Real Decreto.

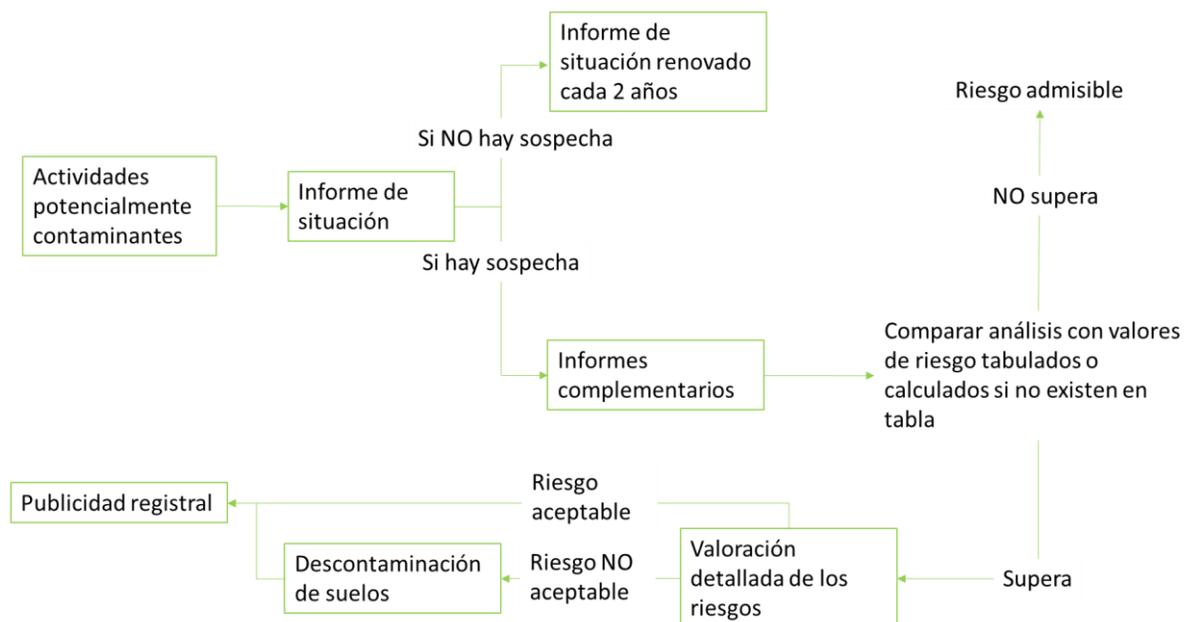


Figura 10 - Esquema de funcionamiento del Real Decreto 9/2005

²² Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2011/BOE-A-2011-13046-consolidado.pdf>

A continuación, se explican los alcances de estas leyes.

Esta Ley establece:

- a) Que el suelo se declarará contaminado, mediante resolución expresa, si el riesgo se considera inaceptable para la salud humana y el medio ambiente según lo que indica el decreto como riesgo. De esta manera, por un lado establece el concepto de suelo contaminado como un concepto administrativo con unas implicaciones concretas, y por otro, establece el análisis de riesgos como criterio de decisión.
- b) La relación de actividades susceptibles de causar contaminación en el suelo. En este caso las comunidades deberán ampliar el catastro de sitios contaminados de cada comunidad. Son las actividades económicas que se especifican en el mismo las que tienen que someterse a estos procedimientos, además de aquellas que manejan un volumen mínimo de combustible, o generan determinados residuos.
- c) Los criterios y estándares que permiten decidir si un suelo está o no contaminado, incluyendo los requisitos técnicos que deberán ser tenidos en cuenta.
- d) Se regula la forma y contenido del informe preliminar de situación que deben presentar a las comunidades autónomas los titulares de las actividades potencialmente contaminantes y los propietarios de los suelos que las han soportado en el pasado.
- e) Por otro lado, este real decreto regula los llamados niveles genéricos de referencia de determinadas sustancias agrupadas según su peligrosidad para la salud humana o para ecosistemas. Además, incluye los criterios para calcular los niveles de referencia de aquellas sustancias no incluidas en el listado. En este caso, cabe destacar que los metales no se encuentran en la lista de niveles genéricos, y por tanto deben ser calculados, o deben ser establecidos por cada Comunidad Autónoma en función de sus propias condiciones. Para el caso de hidrocarburos, se establece un nivel de referencia único de 50 mg/kg, por encima del cual es preciso realizar una valoración de riesgos.
- f) En caso de realización de obras de remediación de suelos se precisa la forma en que se declarará que un suelo ha sido descontaminado. El alcance y ejecución de las actuaciones de recuperación serán tales que garanticen que la contaminación remanente, si la hubiera, se traduzca en niveles de riesgo aceptables para el uso actual y previsto del terreno.
- g) Que el criterio general para juzgar el grado de contaminación del suelo, y las posibles medidas de remediación están basadas en la valoración de los riesgos ambientales por la existencia de contaminantes en suelos. Además, establece los principios de evaluación del riesgo para el ser humano y el medio ambiente de las sustancias existentes de acuerdo con el Reglamento (CEE) n.º 793/93 del Consejo, se recogen los elementos necesarios que debe contener una valoración de riesgos.
- h) El modo en que se producirá la constancia en el Registro de la Propiedad de las resoluciones administrativas sobre declaración de suelos contaminados.

El artículo 2 de la Ley hace referencia a las definiciones, donde cabe destacar la definición de riesgo, definida como “probabilidad de que un contaminante presente en el suelo entre en contacto con algún receptor con consecuencias adversas para la salud de las personas o el medio ambiente” además, en este artículo se indica que en términos de salud humana, se asume como riesgo aceptable para sustancias cancerígenas aquellas en las que la frecuencia esperada de aparición de cánceres en la población expuesta no excede en uno por cada cien mil habitantes (10^{-5}). Para sustancias con efecto sistémico cuando el valor es menor a la unidad.

Destaca la definición de suelo contaminado como aquel cuyas características han sido alteradas negativamente por la presencia de componentes químicos de carácter peligroso de origen humano, en concentración tal que comporte un riesgo inaceptable para la salud humana o el medio ambiente, y así se haya declarado mediante resolución expresa.

Mediante el Real Decreto, el gobierno central desplaza la responsabilidad de realizar el seguimiento y fiscalización de los suelos contaminados a las comunidades autónomas, indicando que estas deberán cumplir al menos con lo indicado en el Real Decreto, pero pudiendo generar las leyes en la propia comunidad, ajustándose a las capacidades de fiscalización y requerimientos técnicos de cada territorio.

1.5.2 *Requerimientos técnicos para investigación de sitio contaminado*

- 1) **Informe de situación:** Deberán realizarlo todos los titulares de actividades presentes en el listado de actividades susceptibles de causar contaminación en el suelo, en un plazo máximo de 2 años y remitirlo al órgano competente de la comunidad autónoma. También deberán realizar este informe aquellos que produzcan, manejen o almacenen más de 10 toneladas al año de sustancias peligrosas. El informe de situación contempla muestreo preliminar de los suelos en estudio. Este estudio se realiza según la guía de la comunidad autónoma en que se realice el estudio.
Mediante este informe el órgano competente declarará un suelo contaminado cuando:
 - Exista riesgo inaceptable según los valores listados
 - Que la concentración en suelos de algún contaminante exceda en 100 o más veces los niveles genéricos de referencia listados o calculados
 - Si se derivan evidencias o indicios de contaminación en las aguas subterráneas
- 2) **Valoración detallada de los riesgos:** los titulares de las actividades deberán realizar este estudio en aquellos sitios que inicialmente se declaren como contaminados por los criterios indicados anteriormente. En caso de que la evaluación de riesgo arroje riesgos no aceptables para su uso el suelo será declarado como contaminado, y deberá aplicarse una descontaminación de suelos.
- 3) **Descontaminación de suelos:** El alcance y ejecución de las remediaciones será tal que garantice que la contaminación remanente, si la hubiera, se traduzca en niveles de riesgo aceptables de acuerdo con el uso del suelo.
- 4) **Publicidad registral:** Los propietarios de los sitios en los que se haya realizado alguna de las actividades potencialmente contaminantes estarán obligados a declarar tal circunstancia en las escrituras públicas.

Las fases en la investigación de un sitio contaminado bajo legislación española se indican en la Figura 11.



Figura 11 - Fases en la investigación y remediación de un sitio contaminado bajo legislación española

Fuente: Elaboración Propia

1.5.3 Niveles de referencia y contaminantes de interés

El real decreto tiene valores de referencia listados según la toxicidad de los elementos, para la protección para la salud humana y protección de ecosistemas.

En el caso de los valores para protección de la salud, cuenta con valores para 3 tipos de usos:

- Uso industrial: aquel que tiene como propósito principal el de servir para el desarrollo de actividades industriales, excluidas las agrarias y ganaderas.
- Uso urbano: aquel que tiene como propósito principal el de servir para el desarrollo de actividades de construcción de viviendas, oficinas, equipamientos y dotaciones de servicios, y para la realización de actividades recreativas y deportivas
- Otros usos: aquellos que, no siendo ni urbano ni industrial, son aptos para el desarrollo de actividades agrícolas, forestales y ganaderas

En la mayoría de los casos, los valores se encuentran calculados según el criterio de contigüidad. Según este criterio, el nivel de referencia para un uso urbano del suelo no podrá ser mayor de 10 veces el nivel de referencia para otros usos del suelo, y el nivel de referencia para un uso industrial del suelo no podrá ser mayor de 10 veces el nivel de referencia de un uso urbano del suelo. Por lo tanto, se coloca un valor para otros usos de suelo y se multiplica por 10 para el uso urbano y por 100 para uso industrial.

Los contaminantes normados se encuentran con los valores se encuentran en el Anexo 1 del presente informe:

- BTEXN (benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos y naftaleno)
- Policlorobifenilos (PCBs)
- Pesticidas organoclorados
- Solventes organoclorados
- Hidrocarburos policíclicos aromáticos

1.5.3.1 Metodología de derivación de niveles

EL Real Decreto no incluye una descripción de la metodología utilizada para establecer los valores de referencia. Para cada uso de suelo se han utilizado distintas rutas de exposición las cuales se especifican en la Tabla 3.

Tabla 3 - Rutas de exposición consideradas

Rutas de Exposición	Usos de suelo		
	Industrial	Residencial	Otros
Inhalación de vapores	X	X	X
Inhalación de partículas	X	X	X
Ingestión de suelos	X	X	X
Contacto dérmico		X	X
Ingestión de comida contaminada			X

Fuente: Derivation methods of soil screening values in Europe. A review and evaluation of national procedures towards harmonisation²³

La derivación de los valores de referencia para la salud humana se ha calculado teniendo en cuenta los siguientes criterios.

- Para los carcinógenos genotóxicos, se adopta la suposición de no existe valor umbral y el valor de referencia desencadenante se establece en la probabilidad de que el cáncer exceda de 10^{-5} .
- Para los productos químicos sistémicos, en general, el riesgo es aceptable cuando la relación entre la dosis de exposición a largo plazo y la dosis máxima admisible es inferior a 1, aunque se asume un umbral de toxicidad diferente según el grupo químico (Tabla 4).

Tabla 4 - Valores umbrales considerados

Grupo químico	Valor Umbral
Pesticidas	0,05
Compuestos organoclorados	0,20
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	0,05
Hidrocarburos aromáticos monocíclicos	0,1

Fuente: Derivation methods of soil screening values in Europe. A review and evaluation of national procedures towards harmonisation

Con respecto a aquellos valores que no aparecen listados, el Real Decreto dicta que se deberán calcular los valores con la siguiente metodología:

- 1) Determinación de los valores umbrales toxicológicos, en función del uso del suelo:
 - a. Identificación y definición de vías de exposición: se indica cuáles son las vías mínimas que deberán considerarse.

²³ Disponible en: https://esdac.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/eusoils_docs/other/EUR22805.pdf

- b. Definición de las características del individuo razonablemente más expuesto para cada una de las vías de exposición consideradas y dosis a la que se encuentra expuesto. Indica que para la determinación de la exposición se deberá utilizar modelos elaborados por instituciones técnicas y/o académicas de reconocida solvencia, y da como ejemplo la Comisión Europea, o la EPA.
 - c. Cálculo de la concentración máxima admisible en suelos: 10^{-5} para efectos cancerígenos
Para sustancias con efectos sistémicos será aquella que verifique los cocientes que le sean de aplicación en función de su naturaleza química, entre la dosis de exposición a largo plazo debida a la contaminación del suelo y la dosis máxima aceptable:
 - 0,05 para productos fitosanitarios
 - 0,2 para compuestos organoclorados
 - 0,05 para hidrocarburos aromáticos policíclicos
 - 0,1 para hidrocarburos aromáticos monocíclicos
- 2) Se aplicará el criterio de contigüidad, reduciendo, cuando sea necesario, los niveles para uso urbano e industrial del suelo. Según el citado criterio, el nivel de referencia para un uso urbano del suelo no podrá ser mayor de 10 veces el nivel de referencia para otros usos del suelo, y el nivel de referencia para un uso industrial del suelo no podrá ser mayor de 10 veces el nivel de referencia de un uso urbano del suelo.
 - 3) Para sustancias de síntesis se podrá aplicar el criterio de reducción, que consiste en adoptar como nivel genérico de referencia 100 mg/kg, en aquellos casos en los que el valor calculado supere esta cantidad.

1.6 País Vasco (Comunidad autónoma de España)

1.6.1 Marco Normativo

El País Vasco, cuenta con varias herramientas para la gestión del suelo contaminado:

DECRETO 165/2008, de 30 de septiembre, de inventario de suelos que soportan o han soportado actividades o instalaciones potencialmente contaminantes del suelo²⁴

Contiene el inventario de suelos contaminados en la región en su anexo I. Es un inventario con parte de la información pública que se puede consultar on-line.

DECRETO 199/2006, de 10 de octubre, por el que se establece el sistema de acreditación de entidades de investigación y recuperación de la calidad del suelo y se determina el contenido y alcance de las investigaciones de la calidad del suelo a realizar por dichas entidades.²⁵

De acuerdo con el artículo 36 de la Ley 1/2005, de 4 de febrero (que posteriormente sustituyó LEY 4/2015, de 25 de junio), la acreditación será requisito imprescindible para poder realizar las investigaciones de la calidad del suelo, el diseño y la ejecución de las medidas de recuperación que se contemplan en la Ley para lo cual el órgano ambiental de la Comunidad Autónoma acreditará a las entidades que lo soliciten. Este decreto cita el sistema de acreditación de las entidades.

²⁴ <https://www.euskadi.eus/eli/es-pv/d/2008/09/30/165/dof/spa/html/web01-s2ing/es/>

²⁵ https://www.legegunea.euskadi.eus/x59-preview/es/contenidos/decreto/bopv200605516/es_def/index.shtml

DECRETO 212/2012, de 16 de octubre, por el que se regulan las entidades de colaboración ambiental y se crea el Registro de Entidades de Colaboración Ambiental de la Comunidad Autónoma del País Vasco²⁶

Crea un registro de las entidades que se encuentran acreditadas para la realización de las investigaciones.

LEY 4/2015, de 25 de junio, para la prevención y corrección de la contaminación del suelo²⁷

Esta Ley sustituye una anterior (Ley 1/2005, de 4 de febrero) con la intención de reducir la intervención administrativa y la no tutela cuando esta no sea necesaria, y el mantenimiento de los estándares ambientales. Esta modificación, además, aprueba un texto normativo con rango legal y deja para el desarrollo reglamentario los aspectos más técnicos o procedimientos.

- Clasificación de las actividades potencialmente contaminantes del suelo.
- Limitaciones para el uso de vivienda para emplazamientos que han soportado actividades de deposición de residuos.
- Que los municipios deben afianzarse como fuerza motriz de primer orden en la implantación de la política de prevención y corrección de la contaminación de suelos.
- Define de forma sistemática los instrumentos necesarios para conocer y controlar la calidad de los suelos. Con su contenido y alcance mínimo. Esto incluye lo siguiente:
 - declaración en materia de calidad del suelo
 - informes de situación de suelo
 - investigaciones exploratorias
 - investigaciones detalladas (pueden incluir análisis de riesgo, alternativas de remediación planes de recuperación y planes de excavación)
 - investigaciones del estado final del suelo
- Establece que la protección del suelo es un deber básico de las personas físicas o jurídicas y se mantiene la obligación de remisión al órgano competente de los informes periódicos en relación a los suelos que soporten actividades potencialmente contaminantes. La periodicidad de los informes será de 5 años.
- Establece los efectos derivados de la declaración de la calidad del suelo, mantiene la diferencia entre la denominada «contaminación o alteración histórica» del suelo y la «contaminación o alteración nueva».
- Recoge los instrumentos de la política de suelos responsabilidad de las administraciones públicas con los siguientes componentes:
 - inventario de suelos con actividades o instalaciones potencialmente contaminantes del suelo
 - el plan de suelos
 - el Registro Administrativo de la Calidad del Suelo
 - las entidades acreditadas en investigación y recuperación de suelos
 - las ayudas económicas para incentivar el cumplimiento de las obligaciones previstas en la ley
 - mecanismos de financiación pública
- Régimen sancionador, y diferencia entre infracciones muy graves, graves y leves según los distintos riesgos o daños que se generen en el medio ambiente o en la salud de las personas.

²⁶ https://www.euskadi.eus/web01-tramite/es/contenidos/decreto/bopv201205126/es_def/index.shtml

²⁷ <https://www.euskadi.eus/ley/ley-42015-de-25-de-junio-para-la-prevencion-y-correccion-de-la-contaminacion-del-suelo/web01-ejeduki/es/>

Definiciones

La norma contiene la definición de varios conceptos, en este caso más extensos que los del Real Decreto antes analizado, donde cabe destacar las siguientes:

- **Suelo alterado:** todo suelo en el que, al superar las concentraciones de los contaminantes detectados los valores de referencia establecidos, resulte necesario realizar un análisis de riesgos y éste acredite que el suelo no se encuentra contaminado. No tendrá la consideración de alterado, a efectos de esta norma, aquel suelo no contaminado en el que únicamente se detecten concentraciones de TPH (hidrocarburos totales del petróleo) superiores al valor de referencia previsto en la normativa básica en 50 mg/kg e inferiores a 500 mg/kg.
- **Antiguos depósitos incontrolados de residuos:** aquellas áreas de deposición de residuos que cesaron su actividad antes de la entrada en vigor del Decreto 423/1994, de 2 de noviembre.
- **Valores indicativos de evaluación:** valores referentes a concentraciones de sustancias químicas que constituyen el sistema de estándares de calidad del suelo
 - Valor indicativo de evaluación A (VIE-A): Estándar que se corresponde con máximo del background de una determinada sustancia (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). Para las sustancias de origen antrópico, el valor indicativo de evaluación A (VIE-A) se asimilará al límite de detección en aplicación de métodos analíticos normalizados. De forma excepcional, previa acreditación del carácter natural de las concentraciones de sustancias existentes en un suelo, podrá admitirse, en el marco de cada expediente en concreto, la fijación de un valor indicativo de evaluación A (VIE-A) distinto a nivel local.
 - 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. El VIE-B se define para los distintos usos del suelo.
- **Mejor tecnología disponible:** aquella tecnología aportada por el progreso técnico o científico a la que se pueda tener acceso en condiciones razonables, tomando en consideración los costes y beneficios.

Obligaciones de las personas físicas o jurídicas poseedoras y propietarias de suelos

Conlleva la obligación de conocer y controlar la calidad del suelo así como adoptar medidas preventivas, de recuperación y de control y seguimiento.

1.6.2 *Requerimientos para investigación de sitio contaminado*

Se establecen dos procedimientos de declaración en materia de calidad del suelo: el procedimiento de declaración de la calidad del suelo y el procedimiento de declaración de aptitud de uso del suelo.

- El procedimiento de declaración de la calidad del suelo es el procedimiento administrativo que tiene por finalidad validar, por parte del órgano ambiental de la Comunidad Autónoma, la adecuación del suelo al uso actual o previsto, en función de los informes de investigación de calidad del suelo realizados por una entidad acreditada. Obligatoriamente conlleva conocer la concentración de contaminantes en el suelo y en otros medios potencialmente afectados y realizar su evaluación de acuerdo a los criterios que correspondan a cada fase de investigación.

La declaración de la calidad del suelo deberá realizarlo aquellos que:

- Quieran implantar nuevas actividades o instalaciones potencialmente contaminantes (informe de situación de suelo)
 - En caso de que se realice un cambio de la propiedad del suelo en caso de que este se hayan desarrollado actividades potencialmente contaminantes
 - Movimientos de tierras en zonas con actividades potencialmente contaminantes (actuales o pasadas)
 - Cese definitivo de una actividad o instalación potencialmente contaminante
 - Cambio de usos del suelo que haya soportado o soporte actividad potencialmente contaminante
 - Indicios fundados de la existencia de sustancias contaminantes en concentraciones que puedan suponer un riesgo
 - Iniciativa de los propietarios
- El procedimiento de declaración de aptitud de uso del suelo es aquel procedimiento administrativo que tiene por finalidad validar, por parte del órgano ambiental, la aptitud del suelo exclusivamente para uso industrial y en los supuestos recogidos en el artículo 24. A estos efectos, se equiparan a uso industrial aquellos a los que se les aplican los Valores Indicativos de Evaluación B (VIE-B) para dicho uso. Obligatoriamente requiere la elaboración de un informe de situación del suelo.

La declaración de aptitud del suelo la realizarán los suelos de uso industrial que amplíen o instalen una actividad potencialmente contaminante y aquellos que cesen actividades potencialmente contaminantes.

Además, existe una obligación de informar de la presencia de sustancias contaminantes al órgano competente de la Comunidad Autónoma.

No será necesario que se realicen los procedimientos de declaración, aunque se cumplan algunos de los anteriores supuestos si:

- Para uso industrial u otros usos si no se va a realizar movimientos de tierras o eliminación de soleras.
- Cuando se trate de una ocupación de una parte de un emplazamiento que soporta o ha soportado una actividad o instalación potencialmente contaminante del suelo como consecuencia de actuaciones de movimientos de tierras derivados de la construcción de pilares de infraestructuras de comunicaciones o de la implantación o modificación de servicios generales tales como luz, agua, gas o telecomunicaciones.
- Cuando la ampliación o modificación de una actividad o instalación potencialmente contaminante del suelo se lleve a cabo dentro de los límites de la parcela ocupada por la actividad o instalación que se proyecta ampliar o modificar.

Informes de situación: tienen como finalidad valorar la posibilidad de que se hayan producido o se produzcan contaminaciones. La valoración se realiza en función de las sustancias peligrosas manejadas, residuos generados, características de las instalaciones, entre otras.

Investigación exploratoria: Tiene como objetivo comprobar la existencia de concentraciones de sustancias contaminantes que puedan implicar que el suelo este alterado o contaminado. Este informe deberá incluir:

- Investigación histórica
- Obtención de datos de las características relevantes del medio físico
- Campaña de muestreo y análisis que permita acotar la lista de sustancias contaminantes
- Distribución espacial

Investigación detallada: tiene como finalidad, en aquellos suelos que puedan tener un riesgo inaceptable, permitir una correcta delimitación del tipo, concentración y distribución de las sustancias. Además, deberá incluir la cuantificación de los riesgos, además de:

- Una o varias campañas de terreno con muestras y análisis químicos
- Estudio exhaustivo del medio físico y humano
- Análisis de riesgos (en caso de que se requiera)
- Estudio de alternativas de remediación (si se requiere)
- Plan de recuperación (si se requiere)
- Plan de excavación (Si se requiere)

Las declaraciones de la calidad del suelo y las declaraciones de aptitud de uso del suelo serán objeto de nota marginal en el Registro de la Propiedad a iniciativa del órgano ambiental de la Comunidad Autónoma.

En caso de que los estudios acaben concluyendo que el suelo se encuentra contaminado, mediante el informe de situación de suelo e investigaciones exploratorias (incluyendo evaluación de riesgos) se deberán realizar medidas de recuperación de suelos.

Cabe destacar, que las medidas de recuperación de suelos alterados tendrán como finalidad restablecerlo a su estado anterior, o, si este no fuera conocido, alcanzar unos estándares de calidad del suelo al menos iguales a los valores indicativos de evaluación B (VIE-B) o los equivalentes para hidrocarburos totales del petróleo (TPH) y a los que, en su caso, se establezcan para el agua, utilizando la mejor tecnología disponible.

Una vez realizada la remediación podrá solicitarse una desclasificación de suelos como contaminados.

1.6.3 Niveles de referencia y contaminantes de interés

El País vasco divide en 2 tipos los valores de referencia en su norma:

VIE-A: Son valores de metales, los cuales, en algunos casos, incluyen el contenido de arcilla o el contenido de materia orgánica en sus valores, por ejemplo, el plomo, cuyo valor de referencia seria:

$$\text{Plomo: } 16 + 0.7 \times \text{Contenido de Arcilla} + 2.1 \times \text{contenido de materia orgánica.}$$

Los valores de referencia se entregan en mg/kg y no se definen para un uso específico. Si una concentración supera el VIE-A se entiende que el suelo esta alterado, pero no contaminado, como consecuencia la administración puede imponer un control ambiental, pero no requiere contaminación. El caso de excavaciones la tierra removida podrá volver a utilizarse en el sitio en caso de necesidad.

El estándar VIE-A 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. Para las sustancias de origen antrópico, el valor indicativo de evaluación A (VIE-A) se asimilará al límite de detección en aplicación de métodos analíticos normalizados. De forma excepcional, previa acreditación del carácter natural de las concentraciones de sustancias existentes en un suelo, podrá admitirse, en el marco de cada expediente en concreto, la fijación de un valor indicativo de evaluación A (VIE-A) distinto a nivel local.

VIE-B: contempla valores para metales, cianuro, compuestos orgánicos volátiles (BETX y fenol), PAH, disolventes clorados, pesticidas y un grupo clasificado como “otros” donde se encuentran, por ejemplo, el estireno y PCBs. Además, se consideran los siguientes usos:

- Industrial
- Parque público
- Urbano
- Área de juego infantil
- Otros usos

Si una concentración supera VIE-B hay que hacer una investigación detallada, y usar una VRA para decidir. En el caso de excavaciones, un terreno que supera los VIE-B no se puede recolocar en el mismo sitio, y la tierra removida tiene que ser gestionada fuera (en vertedero).

1.7 Andalucía (Comunidad Autónoma de España)

1.7.1 Marco Normativo

Orden de 27 de abril de 2018, por el que aprueba el Programa Andaluz de Suelos Contaminados 2018-2023. BOJA nº 85, de 04/05/2018.²⁸

Este programa se encuentra aprobado para los años entre 2018 y 2023. Para ellos se generó una comisión de seguimiento del programa andaluz de suelos contaminados, que se reúne de manera anual y que se hará cargo, entre otras cosas de evaluar el cumplimiento de los objetivos del programa. El programa se estructura en los siguientes apartados:

- **Ámbito jurídico.** Descripción del marco normativo que le es de aplicación a la Comunidad de Andalucía, criterios que se deben tener en consideración, particularidades jurídicas aplicables y obligaciones exigibles a los diferentes agentes implicados.
- **Principios rectores del Programa,** que han de regir y servir de marco en el que encuadrar los objetivos y medidas para conseguirlos.
- **Diagnóstico de la situación.** Identificación de la situación en la que se encuentra en la actualidad la Comunidad Autónoma de Andalucía, describiendo el entorno andaluz en materia de suelos contaminados, las acciones realizadas en la actualidad y un análisis crítico de la situación de los suelos contaminados en Andalucía.

²⁸ <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2018/85/6>

- Definición del Programa. Establecimiento de los grandes objetivos y líneas de actuación del Programa, encuadrándolos dentro de un marco cronológico preestablecido.
- Objetivos generales. Definición de los objetivos que se quieren alcanzar con el Programa, definiendo las prioridades, líneas de actuación que se plantean para alcanzar dichos objetivos y las medidas que se quieren llevar a cabo para desarrollar las líneas de actuación. Se establece el cuadro de actuación que se quiere llevar a cabo dentro del ámbito temporal del Programa.
- Líneas de actuación. Descripción de las medidas que se quieren llevar a cabo en el desarrollo de las líneas de actuación propuestas

Decreto 334/2012, de 17 de julio, por el que se regulan las entidades colaboradoras en materia de Calidad Ambiental en la Comunidad Autónoma de Andalucía.²⁹

Regula las entidades colaboradoras de la Consejería con competencia en materia de medio ambiente en el ámbito de la calidad ambiental contempladas en el artículo 129 de la Ley 7/2007, de 9 de julio, en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Andalucía, estableciendo los requisitos, funciones y obligaciones que afectan a dichas Entidades

Se consideran entidades colaboradoras aquellas personas físicas o jurídicas, públicas o privadas, debidamente inscritas en el Registro de Entidades Colaboradoras en materia de Calidad Ambiental en la Comunidad Autónoma de Andalucía en los términos establecidos en el presente Decreto. 2. Se entenderá por calidad ambiental las actuaciones en los ámbitos de prevención y control ambiental, calidad del medio ambiente atmosférico, calidad del medio hídrico, calidad del suelo y residuos

Decreto 18/2015, de 27 de enero, por el que se aprueba el reglamento que regula el régimen aplicable a los suelos contaminados.³⁰

Tiene por objeto establecer el régimen jurídico aplicable a los suelos contaminados, así como a los suelos potencialmente contaminados, ubicados en la Comunidad Autónoma de Andalucía.

Definiciones

La norma contiene la definición de varios conceptos, en este caso más extensos que los del Real Decreto antes analizado, donde cabe destacar las siguientes:

- **Cambios de usos del suelo:** a los efectos de este reglamento se define como un cambio en la actividad que se desarrolla en un terreno, conforme a la planificación urbanística vigente, que no implica necesariamente modificación del planeamiento.
- **Concentración representativa:** concentración de un contaminante que representa la mayoría de los valores hallados en un emplazamiento (percentil 90, percentil 95 o máximo)
- **Estudio de caracterización de suelos:** conjunto de estudios que incluye determinaciones analíticas sobre muestras de suelo y aguas subterráneas y que conducen a evaluar la existencia o no de contaminación.

²⁹ <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2012/143/1>

³⁰ <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2015/38/BOJA15-038-00441.pdf>

- **Indicios racionales de contaminación del suelo:** se considerará que existen indicios racionales para suponer la posible existencia de contaminación en el suelo cuando se produzcan, entre otras, una o varias de las siguientes condiciones:
 - Instalaciones anteriores a la entrada en vigor de la Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria
 - Existencia de depósitos subterráneos de combustibles u otras sustancias peligrosas.
 - Otras circunstancias, tales como gestión inadecuada de residuos peligrosos, existencia de derrames o fugas, pruebas de estanqueidad de tanques desfavorables, u otras circunstancias de las que razonablemente se pueda deducir que se haya podido afectar al suelo, contaminándolo.
- **Modificación sustancial:** cualquier cambio significativo en las instalaciones industriales que no esté reflejado en los datos proporcionados por el titular al Inventario andaluz de suelos potencialmente contaminados de Andalucía y que pueda afectar al estado de los suelos, entre otros, los siguientes:
 - Instalación de nuevos depósitos de combustible o sustancias peligrosas, o retirada de los mismos.
 - Implantación de nuevas medidas de detección de fugas o derrames.
 - Ampliación o modificación estructural de zonas de almacenamientos de sustancias peligrosas.
 - Implantación de nuevas líneas de procesos en la instalación que impliquen manejo de sustancias o residuos peligrosos.
 - Cambios en las condiciones estructurales en zonas de almacenamiento de sustancias peligrosas, combustibles o residuos peligrosos: pavimentación, cubiertas, redes de drenaje, etc.
- **Suelo remanente:** suelo que permanece en el terreno una vez alcanzados los valores objetivos de descontaminación que eliminan el riesgo inadmisibles, tras el tratamiento de los suelos contaminados.

1.7.2 Entidad Fiscalizadora

En el caso de Andalucía, la entidad fiscalizadora sería la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación de Territorio, pero algunas competencias son trasladadas a delegaciones territoriales y municipios y ayuntamientos. De esta manera las atribuciones quedan divididas de la siguiente manera:

- **Consejería de medio ambiente y ordenación del territorio:** realiza la coordinación de las distintas delegaciones territoriales, el *inventario andaluz de suelos contaminados*, la expedición de certificados sobre el inventario y el registro andaluz de actuaciones voluntarias de recuperación de suelos. Además, se hará cargo de aquellos estudios de suelos contaminados cuando estos se encuentren en 2 municipios o más.
- Delegaciones territoriales: valoraciones de los informes históricos, transmisión de la información a los ayuntamientos correspondientes en caso de riesgo, el inventario de suelos contaminados de los suelos contaminados solo de la provincia, y el seguimiento y aprobación de los proyectos voluntarios de recuperación. Son las delegaciones territoriales las que realizarán actuaciones de emergencia en caso de accidentes que afecten a la calidad de los suelos y desarrollarán el programa de suelos contaminados.
- Municipios: Declaración y delimitación de los suelos contaminados, aprobación de los proyectos de descontaminación y la declaración de desclasificación de los suelos como contaminados.

1.7.3 Sistema de gestión

La Junta de Andalucía, tiene un proceso de gestión similar al Real Decreto antes mencionado.

Primeramente, aquellos que realicen actividades potencialmente contaminantes (el listado al que hace referencia es el del Real Decreto) deberán realizar una declaración de suelos contaminados en caso de que se den los siguientes casos:

- Por evaluación del informe histórico con motivo de la propuesta de un cambio de uso del suelo o nueva actividad en un suelo que haya soportado una actividad potencialmente contaminante.
- Por evaluación del informe histórico cuando se produce un cese de la actividad.
- Por la información contenida en el inventario andaluz de suelos potencialmente contaminados.
- Por inspecciones realizadas en el emplazamiento.
- Por la denuncia por parte de terceros.
- Por otros supuestos contemplados en actividades sometidas a autorización ambiental.

Los estudios deberán abordar el análisis de aguas subterráneas si estas están presentes en el entorno y pueden ser receptoras de contaminación y el análisis de riesgo solo se realizará en caso de que se superen los niveles genéricos de referencia. Además, deberán ser realizados por entidades acreditadas por la Entidad Nacional de Acreditación según la norma UNE-EN ISO/IEC 17020, para la investigación y UNE-EN ISO/IEC 17025 para los análisis químicos.

Para confirmar la contaminación cuentan con una tabla de elementos normados según el uso del suelo. En caso de que se superen los valores de la tabla se deberá realizar una evaluación detallada del riesgo, y si el resultado de este es de riesgo no admisible, el suelo será declarado como suelo contaminado.

Una vez se realice la declaración este deberá ser registrado en el inventario de suelos (si no se encontraba en este) y deberá registrarse en la propiedad. Tras la declaración de suelo contaminado se ha de presentar un proyecto de descontaminación el cual deberá ser revisado por el órgano competente en cada caso.

Una vez realizada la descontaminación se podrá realizar un proceso de desclasificación del suelo como contaminado. Para eso deberá presentar un informe que garantice que las concentraciones remanentes en el suelo cumplen los valores objetivos de descontaminación recogidos en la resolución de aprobación y seguimiento del proyecto de descontaminación, y que se han eliminado los riesgos inadmisibles para la salud humana o los ecosistemas.

En Andalucía cuentan con varias herramientas para la gestión de los suelos contaminados, entre las que se encuentran el inventario andaluz de suelos contaminados, el inventario municipal de suelos contaminados y el inventario de suelos potencialmente contaminados.

Además, cuenta con una herramienta para actuaciones voluntarias de descontaminación de suelos, en el caso de que se traten suelos no declarados como suelos contaminados.

Por otro lado, legisla la inspección, vigilancia y control de los proyectos, y establece el régimen sancionador en caso de incumplimiento.

1.7.4 Requerimientos para investigación de sitio contaminado

Como mencionado anteriormente, los requerimientos técnicos para la investigación son similares a los señalados en el Real Decreto. En este caso, además se especifica cómo se han de presentar los proyectos de descontaminación y desclasificación (Figura 12).





Figura 12 - Requerimientos técnicos de la norma de Andalucía
Fuente: Elaboración propia en base a norma de Andalucía

1.7.5 Niveles genéricos de referencia

En el caso de Andalucía, la norma únicamente establece valores de referencia para los metales (Anexo 1 del presente informe), y el resto de los elementos se consideran según el Real decreto a nivel estatal.

Andalucía, previo a establecer los valores de referencia, y dado que cuenta con localidades fuertemente mineralizadas, realizó un estudio de fondo geoquímico de la región (Estudio de elementos traza en suelos de Andalucía³¹), por el cual y mediante análisis estadístico, establecieron el valor de referencia del arsénico.

Para el cálculo de resto de los valores se basan en los mismos criterios mencionados en el Real decreto: Criterio de contigüidad y de Criterio de reducción.

Guías Técnicas de la Junta de Andalucía:

Andalucía cuenta además con una serie de guías técnicas que describen el proceso de investigación de los sitios contaminados:

31

<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/porta/web/menuitem.7e1cf46ddf59bb227a9ebe205510e1ca/?vgnextoid=7576dad453d54010VgnVCM1000000624e50aRCRD&vgnnextchannel=90362b1d2e0f4310VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnnextfmt=portalwebTipolInfo>

- a) Guía para la clasificación de suelos potencialmente contaminados en función del riesgo³²
- b) Guía para la investigación de suelos potencialmente contaminados³³
- c) Guía de evaluación de riesgos para salud humana en suelos potencialmente contaminados³⁴

1.8 México

La Normativa mexicana no tiene una metodología unificada para todos los contaminantes. Según indica el texto, los valores de referencia de los metales fue extraída de bibliografía internacional basada en riesgo. México cuenta con varias herramientas en suelos contaminados:

Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente

En el artículo 134 V se indica que en los suelos contaminados por la presencia de materiales o residuos peligrosos, deberán llevarse a cabo las acciones necesarias para recuperar o restablecer sus condiciones, de tal manera que puedan ser utilizados en cualquier tipo de actividad prevista por el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulte aplicable.

Programa nacional de remediación de sitios contaminados

Define más bien una serie de lineamientos en materia de remediación de sitios contaminados, define sitio contaminado y a los responsables de descontaminarlo. Además, se menciona la existencia de un catastro de sitios contaminados y potencialmente contaminados realizado por el SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales).

NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, selenio talio y/o vanadio.³⁵

Esta norma establece diferentes alternativas para determinar la concentración objetivo. Estas opciones incluyen las concentraciones de referencia (totales y solubles), la determinación de valores de fondo de suelo o background, el cálculo de concentraciones específicas del sitio y concentraciones basadas en biodisponibilidad de los contaminantes.

La norma se encuentra estructurada en 2 escenarios

1. extensión afectada menor o igual a 1000 m². Se aplica generalmente para accidentes, emergencias o eventos de contaminación que deben resolverse de manera inmediata.
2. extensión afectada mayor a 1000 m². Se aplica en eventos deliberados o fortuitos, continuos y es necesario para ellos cómo se presentó el derrame o transferencia del contaminante al suelo y de éste a algún receptor. Se debe desarrollar un modelo conceptual que permita identificar la presencia de población humana, las fuentes, los mecanismos de liberación y transporte, las rutas y vías de exposición, así como establecer el área de estudio.

³² http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/participa/opina_participa/planes/drsc_01.pdf

³³ http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/participa/opina_participa/planes/drsc_02.pdf

³⁴ http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/participa/opina_participa/planes/drsc_03.pdf

³⁵ https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1392/1/nom-147-semarnat_ssa1-2004.pdf

Una vez realizado el modelo conceptual, el responsable podrá seleccionar entre 4 opciones para establecer, una vez determinada la contaminación, la concentración objetivo de remediación.

1. Remediar hasta concentraciones de referencia, que se obtuvieron de literatura internacional y que se encuentran establecidas en la norma (Anexo 1 del presente informe). Se considera que estos valores protegen al ser humano.
2. Remediar hasta las concentraciones de fondo o background.
3. Remediar hasta concentraciones específicas totales. Aplicable cuando existe población humana potencialmente expuesta a algún contaminante. Para su obtención se debe determinar el riesgo a la salud.
4. Remediar hasta concentraciones de fracción soluble establecidas en la norma, más la fracción soluble de la muestra de fondo. Aplicable cuando no existe población humana potencialmente expuesta. Estas concentraciones consideran como “soluble” la fracción geodisponible o partículas de tamaño pequeño, que pueden moverse por los poros del suelo y presentar un riesgo potencial para el agua.

El modelo conceptual, debe contener la siguiente información: Fuente de contaminación del suelo, mecanismos de liberación de los contaminantes, los mecanismos de transporte, las rutas de exposición y las vías de exposición.

El muestreo de suelo deberá realizarse según establece la norma mexicana NMX-AA-132-SCFI-2008 Muestreo de Suelos para la Identificación y la Cuantificación de Metales y Metaloides, y Manejo de Muestra.

Se considera que el suelo puede ser un riesgo para la salud de las personas cuando al menos una de las concentraciones muestreadas de los elementos regulados se encuentre por sobre las concentraciones de referencia totales ($CIT > CRT^{36}$). Si esto no sucede, el suelo no requiere de remediación.

Para determinar las concentraciones específicas totales (CET), se deberá realizar un estudio de evaluación de riesgo ambiental, para determinar el riesgo a la salud.

En caso de que uno de los contaminantes sea plomo, la determinación de su concentración específica se podrá realizar mediante una evaluación de bioaccesibilidad, de acuerdo a la siguiente relación.

$$CET = CRT/BA \quad \text{donde BA es el factor de biodisponibilidad.}$$

El factor de biodisponibilidad se determina en laboratorio mediante un procedimiento in vitro.

NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012, Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificaciones para la remediación.³⁷

Esta norma establece los límites máximos permisibles de los hidrocarburos en suelos (Anexo 1 del presente informe) y los lineamientos para el muestreo en la caracterización, y especificaciones para la remediación.

³⁶ CIT: concentración inicial total / CRT: concentración de referencia total

³⁷ <https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/6646/1/nom-138-semarnat.ssa1-2012.pdf>

Las tablas que se encuentran en la norma son:

1. Tabla que especifica los hidrocarburos que deberán analizarse en función del producto contaminante.
2. Límites máximos permisibles para fracciones de hidrocarburos en suelo (uso Agrícola, residencial y recreativo y uso industrial y comercial).
3. Límites máximos permisibles para hidrocarburos específicos en suelo (uso Agrícola, residencial y recreativo y uso industrial y comercial).

El plan de muestreo debe ser elaborado por el responsable de la contaminación o por el responsable técnico y contendrá lo siguiente:

1. Objetivo, lugar y la fecha de elaboración. El nombre y la firma de los responsables de su elaboración
2. La descripción de actividades y los tiempos de ejecución. La definición de las responsabilidades del personal involucrado en cada actividad
3. Las características del sitio de muestreo consideradas para la planeación del muestreo
4. La superficie del polígono del sitio
5. La superficie de la zona o zonas de muestreo. Los hidrocarburos a analizar en función del contaminante. El método bajo el cual se diseñó el plan de muestreo (dirigido, estadístico o una combinación de ambos) y el tipo de muestreo (aleatorio, aleatorio simple, sistemático, estratificado, entre otros)
6. El número de puntos de muestreo, el número de muestras incluyendo las muestras para el aseguramiento de la calidad y su volumen
7. La justificación para la ubicación de los puntos de muestreo y para la profundidad de la perforación, los criterios utilizados y la selección de la técnica de muestreo (manual o mecánica)
8. Los planos georreferenciados en coordenadas UTM, tamaño del plano mínimo 60 cm x 90 cm, en los cuales se indique la superficie del polígono del sitio, la ubicación de puntos de muestreo, las vías de acceso al sitio, así como edificaciones y estructuras en el sitio
9. El equipo de muestreo a utilizar y el procedimiento de lavado del equipo
10. Los tipos de recipientes, la identificación, la preservación y el transporte de las muestras, Las medidas de aseguramiento de la calidad del muestreo incluyendo la cadena de custodia
11. La recopilación de los antecedentes históricos sobre las actividades y sucesos que originaron la posible contaminación, cuando se trate de un pasivo ambiental
12. Los elementos geológicos e hidrogeológicos del sitio, cuando se trate de pasivos ambientales, y el caso lo amerite
13. Se debe tomar como mínimo el número de puntos de muestreo en superficie establecidos en la tabla 4 de la norma y la selección de los puntos de muestreo debe considerar las características del sitio.
14. Como una medida de aseguramiento de calidad, se coleccionará y analizará una muestra duplicada de campo por cada diez muestras tomadas. Para superficies menores a 0.3 ha, también se debe coleccionar como mínimo una muestra duplicada de campo.

A continuación, en la Figura 13 se presenta el diagrama general de muestreo.

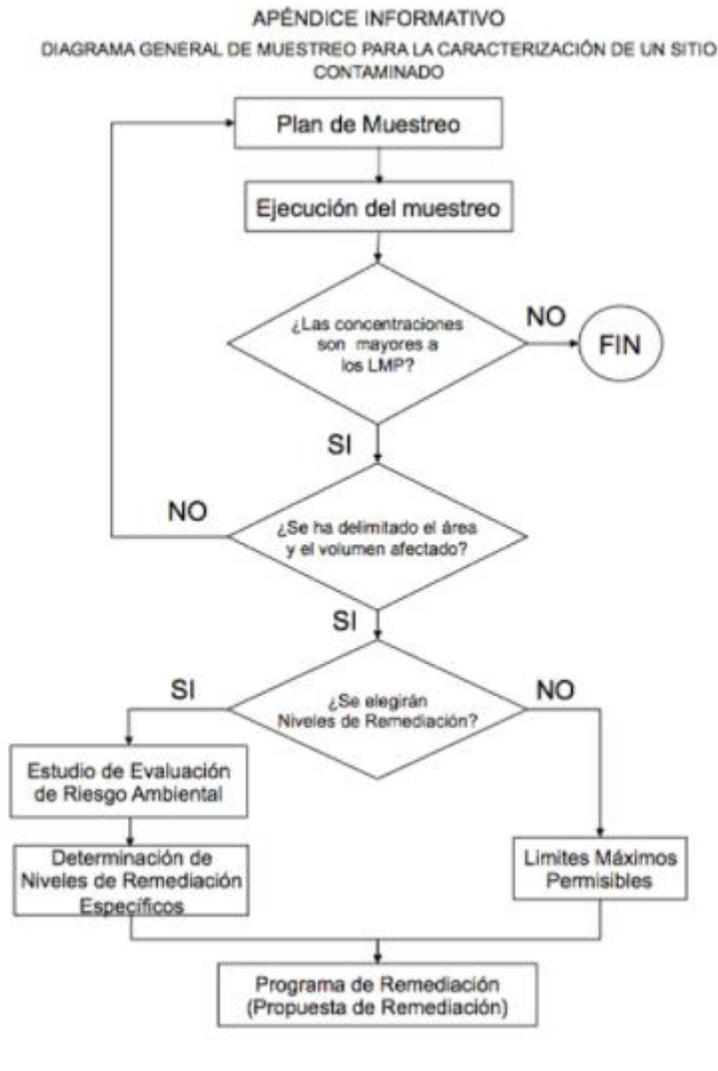


Figura 13 - Diagrama general de muestreo para la caracterización de un sitio contaminado
Fuente: NORMA Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012, Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificaciones para la remediación

El procedimiento de evaluación de la conformidad podrá llevarse a cabo a solicitud de parte, por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) o por las unidades de verificación, acreditadas por la Entidad de Acreditación, y aprobadas por la PROFEPA, quienes emitirán un dictamen donde establezcan el grado de cumplimiento de la presente norma.

1.9 Estados Unidos

1.9.1 Marco normativo nacional

A nivel nacional, existe la Ley de Respuesta Ambiental Completa, Compensación y Responsabilidad (*Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act* (CERCLA)), también conocida como *Superfund*, que fue dictada para hacerse cargo de la descarga de sustancias peligrosas al medioambiente. La CERCLA, además de imponer responsabilidades e identificar potenciales responsables, establece un amplio rango de posibilidad de investigaciones y actividades de remediación.

Por su parte, a nivel estatal y, específicamente para California, la CERCLA tiene su concreción en la Ley de Sustancias Peligrosas (*Hazardous Substance Account Act* (HSAA)), la cual, entre otras materias, autoriza a nivel estatal a remediar sitios que no califican bajo la ley de carácter federal.

1.9.1.1 Entidad fiscalizadora

La Agencia de Protección Ambiental (EPA, por su sigla en inglés) administra CERCLA en todos los estados y territorios de EE.UU., pero los gobiernos estatales también desarrollan un rol activo en la identificación, fiscalización y actividades de remediación respecto a los sitios contaminados.

En ciertos casos, como California, los estados han dictado normas y regulaciones para hacerse cargo de los sitios contaminados y, a su vez, se ha establecido una agencia a nivel estatal: la CalEPA (*California Environmental Protection Agency*).

1.9.1.2 Sistema de gestión de sitios contaminados

La EPA tiene una discrecionalidad amplia para requerir la investigación y remediación de los sitios contaminados. Habitualmente, la investigación requiere reunir toda la información disponible sobre un determinado sitio y, con ello, se determina si el mismo: (i) posa una amenaza para salud o el medioambiente, (ii) si requiere una respuesta de emergencia o en el corto plazo; (iii) o si más acciones de investigación son requeridas.

La EPA puede realizar las actividades investigativas directamente (buscando, posteriormente, resarcimiento de los costos asociados por parte de los culpables), o bien, requerir a las partes desarrollar su propia investigación, bajo observancia gubernamental.

Al identificar un sitio contaminado, la EPA:

- Determina la naturaleza y medida de la contaminación;
- Evalúa la posibilidad y efectividad de opciones de remediación;
- Desarrolla una propuesta de remediación, tomando en consideración la participación ciudadana;
- Ejecuta la remediación, una vez el plan es aprobado.

Si bien la EPA y los estados pueden desarrollar estas actividades por sí, habitualmente serán los privados quienes las ejecutarán, bajo la fiscalización regulatoria de las agencias.

1.9.2 Requerimientos técnicos para una investigación de sitio contaminado

Los requerimientos técnicos para las diferentes fases de una investigación y remediación de un sitio contaminado se encuentran descritos en documentos técnicos preparados por la *American Society of Testing*

Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) o ASTM además de guías publicadas por la USEPA, o su representante estatal (CalEPA en el estado de California) o condado.

En cuanto a los documentos de la ASTM, estos corresponden principalmente a los siguientes:

- *ASTM E1527-13 Standard Practice for Environmental Site Assessments: Phase I Environmental Site Assessment Process*
- *ASTM E1903 – 19 Standard Practice for Environmental Site Assessments: Phase II Environmental Site Assessment Process*
- *ASTM E1739 - 95(2015) Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites*
- *ASTM E1689 – 20 Standard Guide for Developing Conceptual Site Models for Contaminated Sites*
- *Standard Guide for Risk-Based Corrective Action*
- *USEPA – Guidance for Conducting Remedial Investigations and Feasibility Studies Under CERCLA*

Estos procedimientos caen dentro de los requerimientos exigidos por la *Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act (CERCLA) (42 U.S.C. 9601)* más conocida como la ley “Superfunds” para la investigación de sitios contaminados (o “*brownfields*”). Localmente, California posee su propio programa de Superfunds bajo la ley *California Superfund: Hazardous Substance Account Act (HSAA), California Health & Safety Code (CH & SC)*. Cabe notar que los requerimientos de la ASTM Phase I son los mismos que el requerimiento bajo CERCLA de realizar el procedimiento “*All Appropriate Inquiries*”, o AAI, que es requerido para que el comprador de un terreno contaminado pueda alegar desconocimiento de la situación de contaminación de un sitio después de adquirirlo y no ser requerido legalmente de responsabilizarse (al menos completamente) de su remediación.

Esencialmente el proceso se puede dividir en las siguientes fases:

- *Phase I Environmental Site Assessment* – Evaluación ambiental de sitio Fase I
- *Phase II Environmental Site Assessment* – Evaluación ambiental de sitio Fase II
- *Remedial Investigation / Feasibility Study (RI/FS)* y *Remediation Action Plan* – Investigación de la remediación / estudio de factibilidad y plan de remediación
- *Remediation Action Plan (RAP)* – Plan de remediación

Cada estado tiene su propia manera de operar y determinar los requerimientos específicos de cada fase, aunque de manera general en Estados Unidos el proceso es el siguiente (Figura 14):



Figura 14 - Requerimientos de estudio de cada una de las fases
 Fuente: Elaboración propia basado en la norma de EEUU

En cuanto al proceso específico en el estado de California, este se puede resumir en el siguiente esquema (Figura 15):

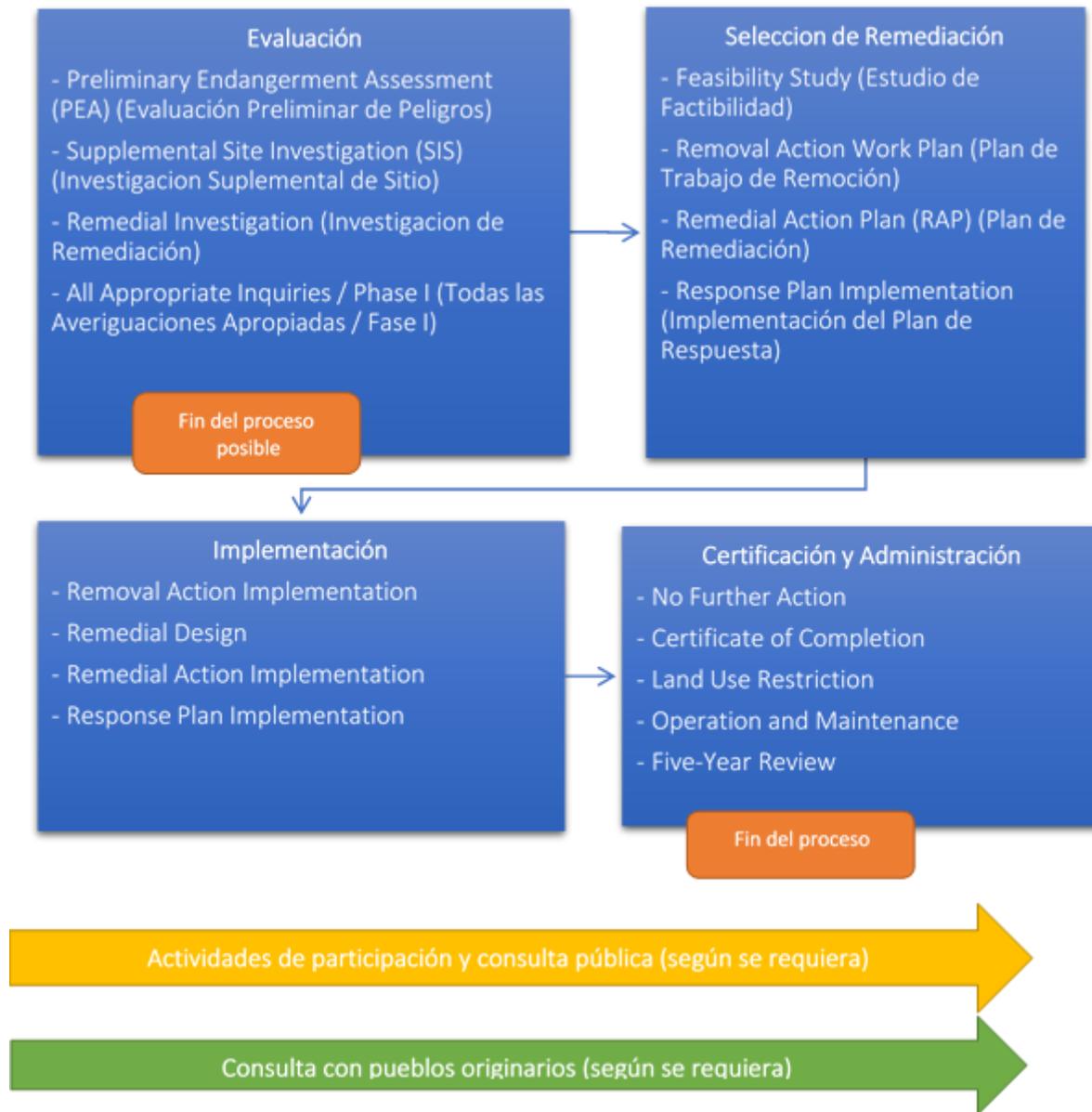


Figura 15 - Guía de Referencia Resumida del Proceso de Evaluación y Remediación
Fuente: Elaboración propia basado en norma de EEUU

En el estado de California la Evaluación Preliminar de Peligros (PEA) se corresponde generalmente con los requerimientos de una Fase I, mientras que el *Supplemental Site Investigation* (SSI) es equivalente a una Fase II y el *Remedial Investigation/Feasibility Study* (RI/FS) es similar en requerimientos a lo mandado por CERCLA/USEPA. No se estima útil revisar cada una de estas fases y documentos, ya que comprenden un proceso complejo y particular al estado de California, en vez, se concentrará en las fases del proceso general indicado en el esquema anterior (Figura 14).

1.9.2.1 Phase I Environmental Site Assessment (Phase I ESA)

La evaluación de Fase I debe seguir el estándar ASTM y satisfacer los requerimientos del proceso *All Appropriate Inquiries* (AAI) dictado por CERCLA para que un comprador pueda alegar desconocimiento del estado de contaminación del sitio bajo el *Innocent Land Owner* (ILO) defense.

Esta evaluación estudia rigurosamente los usos de suelos históricos y actuales además de evaluar la posibilidad de contaminación en el sitio. Por ejemplo, si una propiedad fue una estación de servicio y no existiesen registros de remoción de tanques enterrados.

Una Fase I contiene por lo general los siguientes componentes:

- Inspección del sitio
- Compilación de información histórica del sitio incluyendo revisión de fotografías aéreas
- Revisión de registros gubernamentales del sitio
- Estudio de la geología e hidrogeología del sitio
- Evaluación de potencial de intrusión de vapores contaminantes
- Conclusiones y recomendaciones de un profesional con respecto al uso actual y futuro del sitio

La Fase I, generalmente se usa en todas las transacciones privadas de propiedades, además de proyectos de desarrollo por el gobierno. Algunas empresas de financiación exigen requerimientos adicionales a la Fase I para el proceso de préstamo. En general la Fase I no contempla muestreo.

De encontrarse evidencia de contaminación potencial entonces se determinan una *Recognized Environmental Condition* (REC) o Condición Ambiental Reconocida, que debiese llevar a la realización de una Fase II en el sitio. Sin embargo, cabe notar que no existe requerimiento legal de reportar a la autoridad de encontrarse contaminación potencial en el sitio, salvo que esta pueda estar poniendo en riesgo actualmente a la salud de las personas o medio ambiente.

Existen dos categorías también dentro de las REC, que tienen implicancias adicionales. Estas son las *Historical Recognized Environmental Conditions* (HREC) Condición Ambiental Reconocida Histórica, que no precluye el uso actual del sitio, pero que indica que anteriormente se reconoció contaminación potencial y se debe revisar si aún se cumplen los requerimientos de una Fase I (estos cambian según avanza la ciencia). De otra manera, el HREC pasaría a ser un REC. La otra es la *Controlled Recognized Environmental Conditions* (CREC) que indica que se encontró una condición ambiental, pero que se está actualmente manejando. En una transacción de propiedad el comprador del terreno debe hacerse cargo también de cumplir estos requerimientos.

1.9.2.2 Phase II Environmental Site Assessment (Phase II ESA)

Como indicado anteriormente, una investigación detallada de sitio es requerida cuando los resultados de la investigación preliminar indican contaminación potencial o confirmada en el sitio (REC). La investigación debe hacerse según el estándar ASTM correspondiente, o guía estatal relevante. La gran diferencia entre una Fase I y una Fase II, es que esta última debe contener muestreo de suelos (además de vapores y agua subterránea/superficial cuando sea relevante). Se debe notar que una Fase II solo determina la existencia de contaminación en un sitio, y no define la extensión lateral y vertical de esta. En este respecto, una Fase 2 posiblemente no contenga suficientes datos para desarrollar un plan de remediación (*Remedial Action Plan* o RAP).

Los componentes principales de una Fase 2 son:

- Resumen de los resultados de la Fase I
- Procedimientos para las actividades de muestreo
- Discusión de los resultados
- Evaluación de riesgos a la salud y medio ambiente mediante comparación con valores de referencia
- Modelo conceptual del sitio y contaminación

1.9.2.3 Remedial Investigation / Feasibility studies

Remedial Investigation / Feasibility Study (RI/FS)

Una investigación de remediación (*Remedial Investigation*, RI) tiene por objetivo definir la naturaleza de la contaminación, delimitar esta vertical y horizontalmente, evaluar riesgos a la salud y medio ambiente además de realizar pruebas de tratabilidad (de ser requeridas). El estudio de factibilidad (*Feasibility Study*, FS) es el mecanismo para el desarrollo y la evaluación detallada de alternativas para la remediación. Ambos procesos son realizados simultáneamente, ya que los datos recolectados en la RI influyen en el desarrollo de alternativas para la remediación del FS.

Existen una serie de guías emitidas por la USEPA para realizar actividades contempladas por este proceso. Una de las actividades más importantes es la evaluación de riesgos a la salud o *Human Health Risk Assessment* (HHRA).

1.9.2.4 Remedial Action Plan (RAP), implementación y certificación

El *Remedial Action Plan* (RAP) o plan de remediación indica el método de remediación que se debe seguir de acuerdo a las investigaciones anteriores, especialmente la investigación de remediación y el estudio de factibilidad. El RAP también indica los objetivos específicos para el sitio para la protección de la salud y el medio ambiente indicando los tiempos, cantidad de material a remediar, matrices afectadas, permisos entre otras consideraciones.

Posteriormente a la confección del RAP viene la fase de implementación que se denomina bajo el esquema de la Ley de Superfunds (CERCLA) como "*Remedial Action*". En esta fase se debe documentar los trabajos realizados en el sitio y cuan exitoso fue el proceso. En este respecto, el sitio puede ser removido de los registros de la autoridad de ser un sitio contaminado o puede quedar listado como un sitio con "*Controlled Recognized Environmental Conditions* CREC", lo que significaría que deben existir medidas de gestión o monitoreo para permitir su uso.

1.9.2.5 Control de calidad

Los controles de calidad que deberán realizarse durante el proceso están dictados por los estándares ASTM y guías de la USEPA o autoridad estatal, y corresponden principalmente al uso de técnicas de descontaminación y uso de duplicados entre otros.

1.9.3 Niveles de referencia

Los niveles de referencia para la protección de riesgos a la salud se denominan los *Regional Screening Levels* (RSLs). Previamente cada "región" correspondiente a un grupo de estados tenía sus propios RSLs, sin embargo

recientemente estos se han consolidado para todas los estados y se encuentran listados en el sitio de la USEPA³⁸.

Existen niveles de referencia para una gran variedad de compuestos y elementos que abarcan los siguientes grandes grupos:

- Metales y metaloides (As, Cr, Zn, Pb, U, etc.)
- Hidrocarburos totales según sus fracciones (*total recoverable hydrocarbons*)
- BTEXN (benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos y naftaleno)
- Hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs)
- Solventes organoclorados (TCE, DCE, cloruro de vinilo)
- Pesticidas organoclorados (Aldrin, Dieldrin, DDT, and DDE)
- Policlorobifenilos (PCBs)

Recientemente se ha incluido también niveles de referencia para contaminantes emergentes como las sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas (PFAS).

Se han definido también dos categorías de RSLs de acuerdo al uso de suelo, las que corresponden a residencial e industrial. Los valores para los RSLs se han calculado siguiendo el proceso para una evaluación de riesgos a la salud o “Human Health Risk Assessment (HHRA)” tomando parámetros genéricos para estos usos de suelo en cuanto a tiempo de exposición, si el contaminante es cancerígeno o no, ingestión accidental, potencial de volatilización, entre otros.

Los RSL son usados como valores de referencia y punto de partida para la remediación. No son per se niveles de remediación. Generalmente en sitios donde las concentraciones son menores a los RSLs no se requiere realizar mayores acciones.

Los valores de referencia se incluyen en el Anexo 1.

1.9.3.1 *Uso de los background*

Los niveles background se deben medir donde quiera que puedan afectar decisiones con respecto al sitio. Estos pueden contribuir al modelo conceptual, a la definición de niveles de remediación y la alternativa de remediación. Los niveles background también pueden ayudar a establecer los responsables de una contaminación cuando esto no está claro.

Generalmente bajo la Ley Superfund los niveles de remediación determinado no pueden ser menores que el background establecido en el área de estudio. No obstante, existen situaciones donde los niveles background pueden presentar niveles peligrosos para la salud. Esto se toma en general como un problema de salud pública fuera del dominio de la USEPA.

³⁸ Disponible en: <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls>

1.9.4 Evaluación de riesgos a la salud - Human Health Risk Assessment (HHRA)

1.9.4.1 Metodología RAGS

La metodología y principios para la evaluación de riesgos a la salud en sitios contaminados fue publicada por la USEPA en 1989 en el documento *Risk Assessment Guidance for Superfund*, conocido como RAGS. Esta consta de una serie de guías que pueden obtenerse del sitio web de la USEPA³⁹.

Bajo la RAGS la evaluación de riesgos puede esquematizarse en cuatro etapas: identificación de peligros (o formulación del problema), evaluación toxicológica, evaluación de la exposición y caracterización del riesgo, tal y como se indica en la Figura 16.

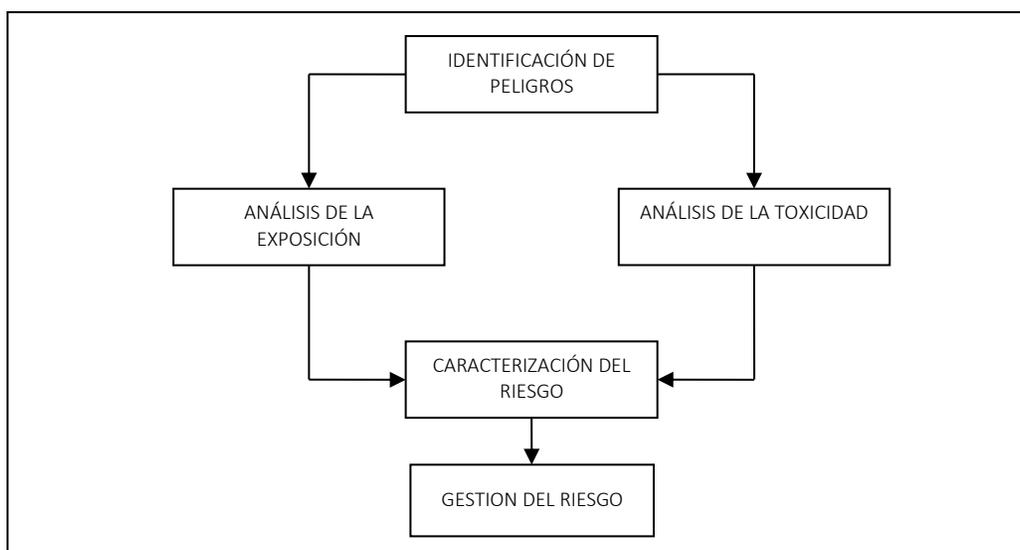


Figura 16 - Metodología de la evaluación del riesgo ambiental

La **identificación de peligros** o formulación del problema consiste en el establecimiento de un modelo conceptual del emplazamiento investigado, definiendo los factores fundamentales de la cadena de riesgo: focos de contaminación, contaminantes implicados y su distribución en los medios, mecanismos de transporte, vías de exposición y receptores potenciales de la contaminación detectada.

El **análisis de la exposición** consiste en evaluar la magnitud, la frecuencia y la duración de la exposición a los contaminantes de interés considerando las vías principales a las que la población puede estar expuesta.

Cuando la exposición al contaminante se produce de manera directa (por ejemplo, mediante contacto dérmico o ingestión de suelo), la concentración detectada en el medio es igual a la concentración de exposición; si la exposición se produce de manera indirecta (por ejemplo, inhalación de vapores procedentes del suelo o de las aguas subterráneas), la concentración de exposición puede medirse en campo o estimarse mediante el empleo de modelos de transporte.

³⁹ Disponible en: <https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-rags-part>

Para ello es necesario conocer las propiedades geológicas e hidrogeológicas del medio, así como la existencia de pavimentación y su estado en caso de exposición en ambientes exteriores, o las características constructivas de los edificios en caso de exposición en ambientes interiores.

El **análisis de toxicidad** permite identificar la toxicidad de los contaminantes a los que pueden estar expuestos los receptores evaluados y establecer la correspondencia entre la cantidad de tóxico y la magnitud del efecto, concepto conocido como la relación dosis-respuesta.

Finalmente, la etapa de **caracterización del riesgo** consiste en la combinación de la información toxicológica referente a los contaminantes presentes y la información relativa a las dosis de exposición de los receptores potencialmente afectados, para alcanzar una estimación cuantitativa del riesgo que supone la situación analizada. Debe indicarse además el nivel de incertidumbre asociado a dicha estimación.

Existen una serie de ecuaciones que capturan estos conceptos para definir el riesgo de acuerdo a cada ruta de exposición. Estas son las mismas presentadas en la revisión de la metodología para Australia salvo que en Estados Unidos no se incluyen expresamente los factores de biodisponibilidad y exposición background (ver Sección 1.2.4.3).

A continuación, en la Figura 17 se presenta un ejemplo de las ecuaciones que se usarían para calcular el riesgo por ingestión:

EXHIBIT 1-3

CANCER AND NONCANCER RISK MODELS

Exposure Model:	
Cancer Risk Model:	$CDI = \frac{C \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT}$
Noncancer Risk Model:	$Risk = CDI \times CSF$ $HQ = \frac{CDI}{RfD}$

CDI	=	chronic daily intake of the chemical (mg/kg-day)
C	=	concentration of the chemical in an exposure medium (e.g., mg/L)
IR	=	ingestion rate (e.g., L/day for water, mg/day for soil, etc.)
EF	=	exposure frequency (days/year)
ED	=	exposure duration (years)
BW	=	body weight (kg)
HQ	=	hazard quotient
AT	=	averaging time (equal to ED x 365 days/year for noncarcinogens and 70 years x 365 days/year for carcinogens)
CSF	=	cancer slope factor (linear low-dose cancer potency factor) for the chemical (mg/kg-day) ⁻¹
RfD	=	reference dose for the chemical for assessing noncancer health effects (mg/kg-day)

Figura 17 - Cálculo de riesgos por ingestión

Fuente: (USEPA, 2001) *Risk Assessment Guidance for Superfund*

1.9.4.2 Risk-Based Corrective Action (RBCA)

Posterior al RAGS, en el año 1995, ASTM (*American Society for Testing and Materials*) publicó la Norma ASTM E1739-95, “*Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites*” (Guía Estándar para Acciones Correctivas Basadas en Riesgo Aplicadas a Sitios con Liberación de Petroderivados), integrando los conceptos del RAGS con las otras fases de los estudios de sitio, actualizando las bases del análisis de riesgo para sitios con contaminación de petróleo. Posteriormente, en el año 2004 la ASTM publicó el estándar *ASTM E-2081-00 Standard Guide for Risk-Based Corrective Action (RBCA)* ampliando el proceso de decisiones a otros contaminantes.

El criterio RBCA, es una integración del estudio preliminar ambiental y monitoreo, en combinación con prácticas de evaluación de riesgo y exposición, recomendadas por la USEPA.

El proceso RBCA se implementa escalonadamente con diferentes niveles de complejidad denominadas TIER.

Las primeras etapas (TIER I) son más conservadoras, y consideran parámetros estándar para el sitio, estableciendo niveles objetivo conservadores (RBSLs, *Risk-Based Screening Levels*, Niveles de Evaluación/Selección Basados en Riesgo) equivalentes a los RSLs listados por la USEPA.

En las etapas posteriores (TIER II, TIER III), se incluyen datos específicos del sitio para reducir los niveles de incertidumbre y reemplazar las suposiciones conservadoras. Esto incluye la utilización de las ecuaciones para el cálculo probabilístico de riesgo determinadas en RAGS. Finalmente, el proceso culmina con la determinación de “acciones correctivas” (*corrective action*) las que están basadas en el nivel de riesgo determinado para el sitio.

Como herramienta de apoyo se ha utilizado el programa comercial *RBCA Tool Kit for Chemical Releases V.2.6* (2011), basado en la norma *ASTM E-2081-00 Standard Guide for Risk-Based Corrective Action*. (*American Society for Testing and Materials*, 2004).

Este software permite representar el modelo conceptual establecido para el emplazamiento en estudio y obtener una estimación del riesgo existente para los receptores expuestos, contemplando así todos los elementos que debe contener una ERA, según lo establecido en los documentos normativos de referencia.

1.10 Países bajos (Holanda)

1.10.1 Marco normativo nacional

La principal regulación holandesa en materia de suelos viene dada por la Ley de Protección de Suelos (*Wet bodembescherming* - Wbb) y la Ley de Protección Ambiental (*Wet milieubeheer* - Wm).

La Ley de Protección de Suelos contiene reglas generales para la prevención de contaminación de suelos y, por su parte, la Ley de Protección Ambiental —de manera similar a la regulación chilena— establece qué permisos deben ser obtenidos de manera previa a la ejecución de determinadas obras o actividades.

De manera complementaria a las leyes mencionadas, deben mencionarse, además, el Decreto de Calidad de Suelos (*Besluit bodemkwaliteit*), la Regulación de Calidad de Suelos (*Regeling bodemkwaliteit*) y, finalmente, la Circular de Remediación de Suelos, la que sirve como suplemento a la Ley de Protección de Suelos y, sumado a ello, contiene guías con criterios y metas de remediación para casos de contaminación de suelos.

Decreto de calidad del suelo (*Soil Quality Decree*)⁴⁰

Establece las definiciones, las personas e instituciones autorizadas en materia de contaminación de suelos, las prohibiciones y obligaciones y por último, las sanciones en materia de suelos excavados y material drenado.

Directriz de protección del suelo de los Países Bajos para actividades industriales (*Netherlands Soil Protection Guideline for Industrial Activities*)⁴¹

Las Directrices de protección del suelo de los Países Bajos para actividades industriales (NRB) han sido confirmadas a nivel administrativo por el Ministerio de Vivienda, Ordenación del Territorio y Medio Ambiente / Dirección General de Medio Ambiente (VROM / DGM), la Unión de Juntas de Agua, la Asociación de Provincias y la Asociación de Municipios de los Países Bajos dentro del Grupo de Dirección de Suelos (*Stubo*). Por lo tanto, el NRB tiene el estatus de una herramienta de armonización para evaluar la necesidad y razonabilidad de las medidas e instalaciones de protección del suelo.

El NBR, no es legalmente vinculante, a no ser que las administraciones lo exijan específicamente durante un procedimiento administrativo. Igualmente, se podrán realizar desviaciones de la guía, siempre y cuando estas se encuentren debidamente justificadas.

Esta guía establece las bases para la realización de una estrategia de protección de suelos para las empresas y dicta unas primeras directrices, poco concretas sobre la investigación de suelos.

1.10.1.1 Entidad fiscalizadora

La política de suelos holandesa ha cambiado en los últimos años y, en razón de ello, muchas de las actividades que antaño realizaba el gobierno central han mudado a gobiernos de carácter más local. En el sentido indicado, a la fecha, las autoridades provinciales son las principales responsables de hacer cumplir la Ley de Protección de Suelos. Además, ciertas municipalidades también han sido designadas como reguladores en la materia.

⁴⁰ Disponible en: <https://rwsenvironment.eu/subjects/soil/legislation-and/soil-quality-decree/>

⁴¹ Disponible en: <https://rwsenvironment.eu/subjects/soil/legislation-and/soil-protection/>

1.10.1.2 Sistema de gestión de sitios contaminados

Las agencias reguladoras holandesas tienen relativamente amplias facultades para requerir la descontaminación o adopción de medidas de protección mediante mecanismos de cumplimiento administrativos. Complementariamente, incluso pueden exigir garantía financiera asociada al ejercicio de actividades bajo la Ley de Protección de Suelos.

Sin perjuicio de lo anterior, no se podrá exigir de los dueños o arrendatarios actuales obras de descontaminación si ellos demuestran que no causaron la contaminación, o bien, que no tenían conocimiento de ella al momento que adquirieron la tierra. Así, la autoridad solamente puede requerir la descontaminación si ella es grave (*ernstig*) y urgente (*spoedeisend*). La contaminación grave es urgente cuando implica una amenaza directa a los humanos, plantas o animales.

Las autoridades competentes pueden exigir el cumplimiento de la normativa mediante los mecanismos administrativos propios e, incluso bajo ciertas condiciones, pueden requerir al contaminador o al dueño del terreno a realizar investigaciones y descontaminar la tierra, bajo sanciones administrativas y, en los casos más serios, penales. Como antecedente llamativo, cabe indicar que, en conformidad a la Ley de Protección de Suelos, las autoridades pueden buscar compensación de las personas naturales o jurídicas que se hayan enriquecido injustamente como consecuencia de las obras de descontaminación.

Las contaminaciones graves de zonas comerciales o industriales (*bedrijfsterreinen*) se encuentran sujetas a medidas de protección adicionales y los dueños o arrendatarios pueden ser requeridos a ejecutar investigaciones o labores de descontaminación incluso después que hayan vendido las respectivas propiedades.

Circular de remediación de suelos 2013 (Soil Remediation Circular 2013)⁴²

Esta circular cuenta con los criterios de remediación para la determinación de la urgencia de un suelo para ser remediado. También detalla los objetivos de remediación. El objetivo de ésta es lograr la armonización con el Decreto de Calidad de Suelos.

1.10.2 Requerimientos técnicos para una investigación de suelos

A continuación, se describirá el funcionamiento de la circular de remediación de suelos, ya que esta define los criterios técnicos para la investigación de suelos (Figura 18).

1. Casos de contaminación grave:
 - a. En un volumen de suelo de al menos 25 m³ promedio de concentración de al menos una sustancia supera el valor de intervención
 - b. En caso de agua 100 m³ de suelo saturado promedio de concentración de al menos una sustancia supera el valor de remediación
 - c. Si se dan situaciones vulnerables, aunque no se supere el valor de remediación:
 - i. Huertos
 - ii. Donde existan compuestos volátiles en el agua subterránea

⁴² <https://esdat.net/Environmental%20Standards/Dutch/ENGELSE%20versie%20circulaire%20Bodemsanering%202009.pdf>

iii. Lugares destinados al consumo de cultivos con contaminación de PCB

En caso de que la contaminación no se considere grave, no será necesario determinar si esta es Urgente.

2. Remediación urgente. Para determinar si una contaminación es urgente se compararán los valores con los tabulados en la circular como valores de intervención. Una contaminación se considera de remediación urgente si:
 - a. Puede existir riesgo para la salud humana: Con efecto crónico o agudos, o si existen una evidencia demostrable de molestias con el uso actual (Ejemplo: irritación en piel y olores)
 - b. Los riesgos para el ecosistema se consideran inaceptable en uso actual o futuro
 - c. Existe riesgo de que la contaminación se propague: se propaga a través del acuífero, o existe una situación incontrolable (capa de contaminación flotante o una que se hunde)Si no se considera contaminación urgente, no es necesario realizar una remediación y se podrán realizar medidas de gestión en el sitio.
3. Evaluación de riesgos sitio-específica. En caso de que la evaluación de riesgos específica dé como resultados riesgos no aceptables, será necesario realizar un plan de remediación.

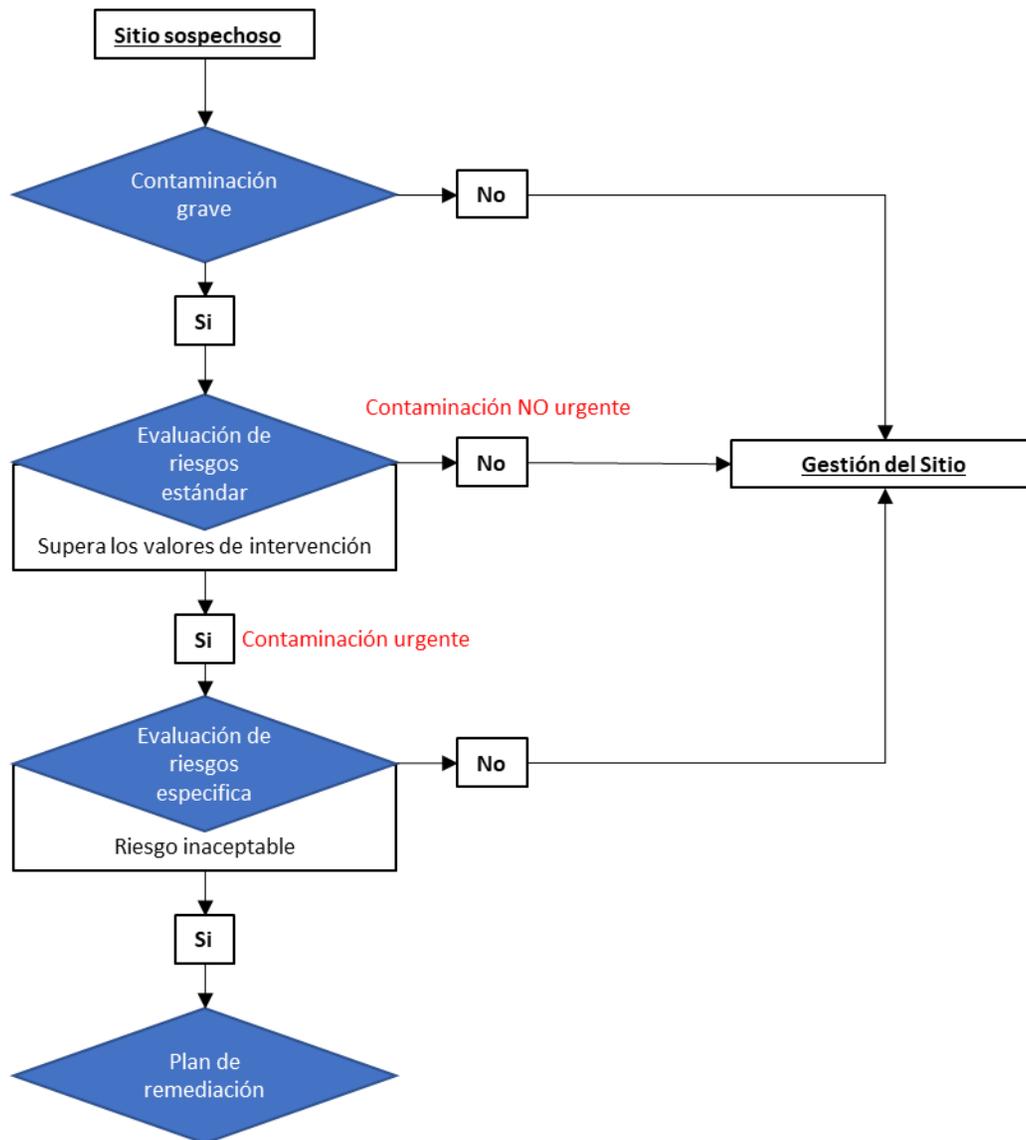


Figura 18 - Esquema de funcionamiento de la Circular 2013

Fuente: Circular de remediación de suelos 2013 (*Soil Remediation Circular 2013*)

1.10.3 Niveles de referencia y contaminantes de interés

La circular de remediación de suelos de 2013 cuenta con valores de intervención y valores objetivos para aguas y suelos contaminados divididos según la cantidad de materia orgánica y arcilla del suelo. Los elementos regulados son:

- Metales
- Otras sustancias inorgánicas como cianuro
- Compuestos aromáticos
- PAH
- Hidrocarburos clorados
- Clorobencenos

- Clorofenoles
- PCBs
- Otros hidrocarburos clorinados
- Pesticidas
- Y otras sustancias como asbestos o piridina

Sin embargo, esta circular no contiene valores distintos según el uso del suelo.

Tal como se comentó, en los Países Bajos se han derivado dos tipos de valores referencia genéricos (*screening values*) para evaluar calidad de suelo y agua subterránea (*valores objetivo* y *valores de intervención*), ambos basados en riesgos potenciales, es decir, el riesgo que podría ocurrir bajo condiciones estandarizadas. Además, se utiliza un *valor intermedio*, que corresponde al promedio entre los valores objetivo y de intervención (Carlton, 2007)⁴³. Estos tres valores se utilizan independiente del uso de suelo.

A partir de la investigación de sitio, pueden resultar las siguientes implicaciones:

- Si la concentración del suelo es menor al valor objetivo (suelo limpio), no existen restricciones.
- Si la concentración del suelo es mayor al valor objetivo y menor al valor intermedio (suelo ligeramente contaminado), algunas restricciones menores pueden ser impuestas al sitio.
- Si la concentración del suelo es mayor al valor intermedio y menor al valor de intervención (también suelo ligeramente contaminado), se debe realizar una mayor investigación.
- Si cierto volumen de suelo tiene una concentración mayor al valor de intervención (suelo seriamente contaminado), significa que en principio es necesaria la remediación, pero la urgencia de esta debe ser determinada.

Además, se han definido *valores de referencia* de calidad de suelo aceptable luego de la remediación (*reference values*). Se hace una distinción entre valores de remediación nacionales y locales para uso de suelo específico, que pueden ser derivados de forma sitio-específica. Cabe destacar que los valores de remediación nacionales han sido derivados para varios usos específicos de suelos, solo para contaminantes inmóviles. Los contaminantes móviles deben ser removidos, mientras sea posible de forma costo-efectiva.

1.10.3.1 Metodología de derivación de niveles de referencia

Valores objetivo

Los valores objetivo (*target values*) para suelo están relacionados con el riesgo despreciable (*negligible risk*) para ecosistemas. Este riesgo despreciable es asumido como el 1% del riesgo máximo permisible para ecosistemas (MPR_{eco}), el que se define como HC5 (concentración peligrosa para el 5% de las especies en el ecosistema), es decir, un 95% de protección. Esto es derivado de manera empírica con interpretación estadística de concentraciones sin efectos observados (NOECs - *No Observed Effect Concentrations*) y concentraciones de más bajos efectos observados (LOECs - *Lowest Observed Effect Concentrations*). Cabe destacar que para la determinación de los valores objetivo no se considera la exposición a humanos. Para los metales, se siguió un enfoque de riesgo añadido en la derivación de los valores objetivo para el suelo. Esto

⁴³ Carlton, C. (2007). *Derivation methods of soil screening values in Europe. A review and evaluation of national procedures towards harmonization*. European Commission, Joint Research Centre, Ispra.

significa que a la concentración background "natural" en los suelos se le agregó la concentración calculada basada en el riesgo.

Valores de intervención

Para la determinación de los valores de intervención (*intervention values*) se consideran los límites de riesgo a la salud humana y los límites de riesgo ecotoxicológico, mediante análisis de riesgos.

El límite de riesgo toxicológico humano se define como la concentración de un contaminante en el suelo para la cual la suma de los índices de riesgo de oral (y dérmico) e inhalación es igual a 1, como se presenta en la siguiente fórmula:

$$(\sum \text{exposición oral} / \text{MPR}_{\text{hum}} \text{oral}) + (\sum \text{exposición por inhalación} / \text{MPR}_{\text{hum}} \text{inhalativa}) = 1$$

Donde, MPR_{hum} es el Riesgo Máximo Permissible derivado para exposición oral y para exposición por inhalación en humanos.

Para establecer los valores de dosis de referencia (valores de exposición aceptable), se hace una distinción entre contaminantes no umbral (carcinógenos genotóxicos) y contaminantes umbral (no carcinógenos y carcinógenos no genotóxicos). Para los contaminantes no umbral, la Ingesta Diaria Tolerable (TDI) es derivada en base a datos de efectos, generalmente en testeo animal, de manera análoga a los procedimientos usados por la Organización Mundial de la Salud. El TDI está definido por la exposición umbral a un contaminante a la que el humano puede estar expuesto diariamente (en base a peso corporal) sin experimentar efectos adversos a la salud, y este es tomado como el MPR_{hum} . Para los contaminantes no umbral (carcinógenos genotóxicos), el MPR_{hum} es definido como la dosis de un contaminante que genera un riesgo de un caso adicional de cáncer letal por cada 10.000 individuos expuestos de por vida (10^{-4}), que corresponde a una definición basada en decisión política.

En cuanto a los límites de riesgo ecotoxicológico, estos se definen como el HC50 (Concentración peligrosa en que el 50% del ecosistema podría ser afectado), que es mucho menos restrictivo que el MPR_{eco} (HC5), mencionado anteriormente para los valores objetivo. La razón para esto es un balance entre la aceptación ecológica y el uso práctico.

Para los valores de intervención se le da el mismo peso a la protección humana y a la protección ecotoxicológica, por lo que se utiliza el valor más restrictivo (el menor) entre el límite de riesgo toxicológico humano y el límite de riesgo ecotoxicológico.

Valores de referencia para remediación

Los valores de remediación se desarrollaron en respuesta a un cambio en la política desde una remediación de suelos a un nivel "apto para uso multifuncional" a una "remediación orientada a la función y costo-efectiva". Los objetivos numéricos de remediación están disponibles para tres tipos de uso de suelo (residencial y recreativo, áreas verdes no recreativas, áreas edificadas y pavimentadas) y un número limitado de contaminantes. Los objetivos de remediación de suelos para el uso agrícola o "naturales" deben determinarse de forma sitio-específica, pero no se especifica la metodología. Se menciona sí que estos valores se derivan de acuerdo a 4 pasos:

1. Definición de requerimiento de uso de suelo (labor política)
2. Selección de criterios de calidad de suelo (por ejemplo, que la exposición total no debe superar el MPR)

3. Derivación de límites de riesgo para cada criterio de calidad (de la misma forma que para la sección anterior)
4. Selección de nRVs (valores de referencia nacional): generalmente como el límite más bajo de riesgo para un uso de suelo específico, y que incluye varios objetivos de protección (salud humana, ecosistema, agua subterránea, producción de cultivos, abono y agua superficial. Además, los valores background en suelos relativamente inalterados ocupan un lugar destacado en la determinación de nRVs para los usos de suelo relacionados con la agricultura y reservas naturales.

Con el fin de aumentar el involucramiento y responsabilidad de autoridades locales, se planteó la posibilidad de derivar IRLs (valores de referencia local) que reemplazaría los nRVs, y que podrían ser valores intermedios entre los nRVs y los valores de intervención, aunque en casos extremos también podrían ser menores a los nRV o mayores a los de intervención. Para facilitar la derivación de los IRVs, se desarrolló un procedimiento estandarizado, no solo teniendo en cuenta una evaluación de riesgos tradicional basada en calidad química del suelo, sino que también para calidad biológica y física del suelo (Carlson, 2007).

1.11 Italia

1.11.1 Marco normativo nacional

TÍTULO V Parte IV del Decreto Legislativo 152/06 REMEDIACIÓN DE LUGARES CONTAMINADOS (TITOLO V Parte IV del D.Lgs 152/06 BONIFICA DI SITI CONTAMINATI)⁴⁴

La remediación de sitios contaminados se enmarca dentro de “*Testi Unici*” di cui alla Legge 308 del 2004 (*Legge Delega per il riordino della normativa in campo ambientale*) y la remediación de sitios contaminados corresponde al Título V. A continuación (Figura 19), se encuentra un esquema de la normativa.

⁴⁴ https://portale.assimpredilance.it/uploads/allegati/bonifiche_-_titolo_v_parte_iv_dlgs_152-06_5a58dde376f98.pdf

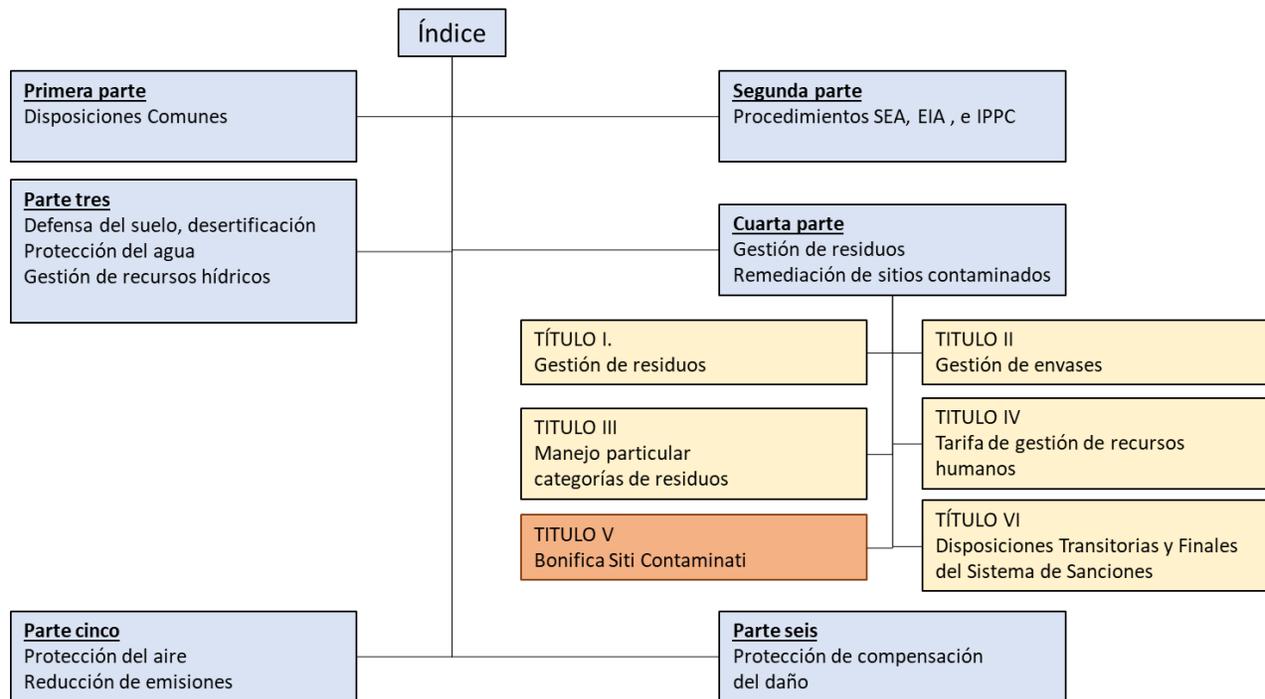


Figura 19 - Esquema de la normativa Italiana de Medio Ambiente

Fuente: *Quadro normativo e indicazioni per l'applicazione dell'analisi dirischio assoluta e relativa* (ISPRA)

La norma define:

Concentraciones umbral de contaminación (CSC): los niveles de contaminación por encima de los cuales es necesaria la caracterización del sitio y el análisis de riesgo del sitio específico. En el caso de que el sitio potencialmente contaminado esté ubicado en un área afectada por fenómenos antropogénicos o naturales que hayan llevado a exceder una o más concentraciones umbral de contaminación (CSC), se asume que estas últimas son iguales al valor de fondo existente para todos los parámetros excedidos.

Concentración Umbral de Riesgo (CSR): son los niveles de contaminación determinados con la aplicación del análisis de riesgo y en base a los resultados del plan de caracterización. Estos niveles se consideran los aceptables para el sitio. Los niveles de remediación se encuentran calculados según la evaluación de riesgo.

Sitio Potencialmente contaminado: sitio en el que uno o más valores de concentración de los contaminantes superan los valores CSC, a la espera de que se complete el análisis de riesgo y se definan los valores CSR.

Sito Contaminado: Sitio en el que se superan los valores de CSR determinados por análisis de riesgo.

A continuación (Figura 20), se presenta un esquema de funcionamiento del procedimiento de los estudios de suelo:

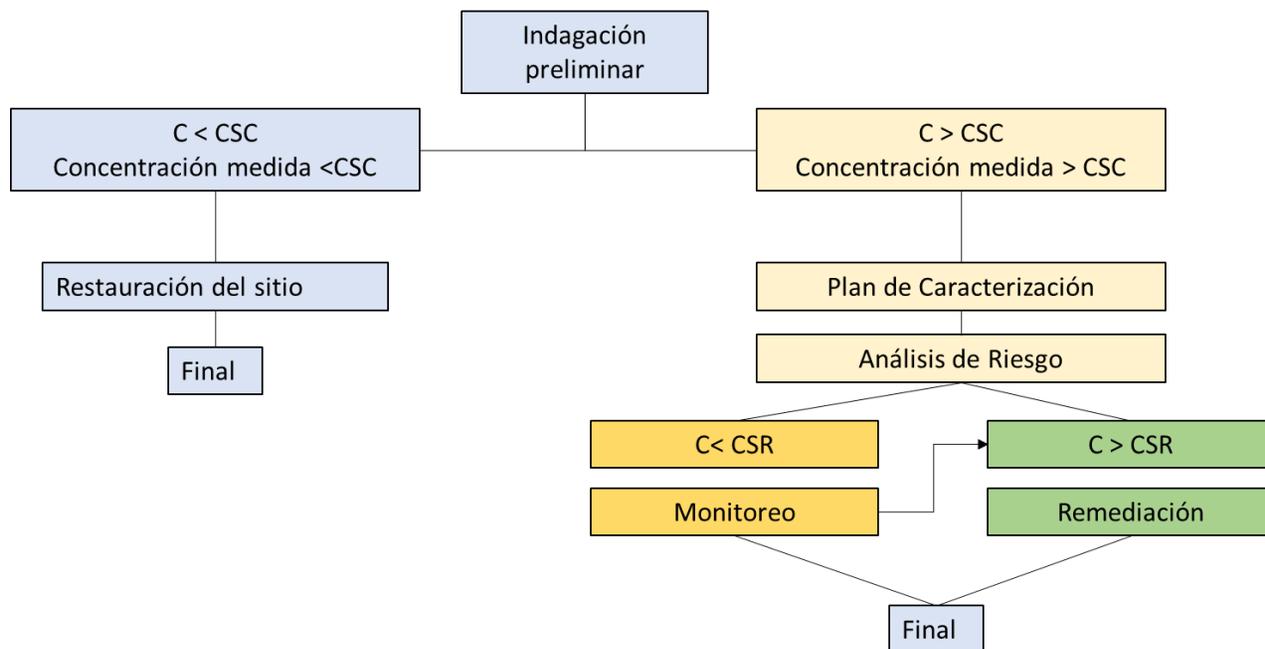


Figura 20 - Esquema de procedimiento de los estudios de suelos

Fuente: *Quadro normativo e indicazioni per l'applicazione dell'analisi dirischio assoluta e relativa* (ISPRA)

No norma ni dictamina procesos específicos para la indagación preliminar o plan de caracterización. Sin embargo, existe un procedimiento establecido por decreto de análisis de riesgo elaborado por Ministerio de Medio Ambiente y Protección del mar, de acuerdo con los ministros de Desarrollo Económico y Salud.

En la página web <https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/suolo-e-territorio/siti-contaminati> se encuentran las guías e indicaciones para la realización de los estudios.

1.11.2 Niveles de Referencia

La norma italiana contempla niveles de referencia para suelos con 2 usos: residencial, e Industrial y comercial. Los elementos regulados son:

- Compuestos inorgánicos
- Aromáticos
- Aromáticos policíclicos
- Alifáticos clorados cancerígenos
- Alifáticos clorados no cancerígenos
- Carcinógenos halogenados alifáticos
- Nitrobencenos
- Clorobencenos
- Fenoles Clorados
- Aminas aromáticas
- Plaguicidas
- Dioxinas y furanos
- Otras sustancias: Amianto y ésteres de ácido ftálico

1.11.2.1 Metodología de derivación de niveles de referencia

Los valores límite de concentración para las sustancias enumeradas en el decreto se han obtenido sobre la base de criterios de protección de la salud. Se seleccionaron las sustancias más tóxicas, persistentes y bioacumulables además de las sustancias más recurrentes presentes en suelos contaminados por diferentes causas como vertidos, eliminación de residuos, accidentes, etc.

Para identificar el valor límite de concentración según el uso del suelo (uso de vivienda / parque público y uso comercial / industrial), se ha elegido el método del "caso más desfavorable": se supone que el receptor está expuesto a la sustancia específica, a través de todas las vías de exposición (inhalación, ingestión, contacto con la piel) durante el tiempo de exposición más largo permitido. Para evaluar la aceptabilidad del riesgo, se utilizaron los siguientes criterios de referencia:

- Se consideró aceptable un riesgo carcinogénico incremental de 1×10^{-6} ;
- Para sustancias no cancerígenas se consideró el "índice de peligro", expresado como la relación entre la dosis introducida en el medio ambiente y la dosis de referencia. Este índice de peligro debe ser <1 .

Para obtener los valores de referencia se utilizó un Modelo Conceptual General, teniendo en cuenta las siguientes premisas:

- La capa superficial del suelo, el subsuelo y las aguas subterráneas se consideraron fuentes de contaminación;
- Un suelo genérico con carbono orgánico 1% y arcilla 10%;
- un escenario de exposición múltiple (para el suelo: inhalación de vapor y polvo, ingestión y contacto con la piel; para el agua subterránea: ingestión, contacto con la piel e inhalación de vapor);
- También se consideró el riesgo de filtración al agua subterránea.

Para determinar los valores referencia, se utilizó un escenario de exposición múltiple (inhalación, ingestión, contacto de la piel con el suelo y las aguas subterráneas). También se utilizaron estándares específicos: A.S.T.M. Las normas E 1739 - PS 104, aplican el procedimiento denominado "RBCA, Acción correctiva basada en riesgos".

Se consideraron las siguientes características toxicológicas:

- Clasificación europea de sustancias o U.S.E.P.A. o clasificación I.A.R.C.;
- Para contaminantes sin umbral, Slope Factor, por inhalación, ingestión, contacto con la piel;
- Para contaminantes umbral, dosis de referencia (RfD), para inhalación, ingestión, contacto con la piel;
- NOAEL, solo cuando los RfD no están disponibles.

Si están presentes sustancias tóxicas para las cuales no se establecen niveles de referencia, se puede determinar un límite de concentración ad hoc basándose en la "criterio de afinidad" por lo que se hará una evaluación con referencia a la sustancia de la lista que tenga propiedades toxicológicas y un comportamiento ambiental similar al del contaminante en cuestión.

1.12 Aspectos geográficos, geológicos, sociales, económicos y políticos

1.12.1 Aspectos geológicos y geográficos

En general, la geografía/geología y concentraciones base de metales y metaloides presentan desafíos a la hora de definir los valores de referencia de los metales en los estudios de contaminación de suelos. Todos los países revisados tienen variación en su composición geológica, incluso a veces con variaciones dentro de las propias regiones, y algunos con sectores altamente mineralizados, que han sido explotados históricamente por actividades mineras.

La Comunidad Autónoma de Andalucía, altamente mineralizada, ha sido explotada históricamente con el desarrollo de minería de diamantes, cobre, hierro y metales preciosos (oro y plata). En ella se encuentra también el famoso Río Tinto (del que tomó nombre la empresa minera), que tiene una coloración rojiza por la oxidación de sulfuros, generación de drenaje ácido y posterior precipitación de óxido de hierro.



Figura 21 - Rio Tinto

Fuente: Wikipedia

En Estados Unidos se ha reconocido la mineralización por arsénico como un problema, que se manifiesta en sus elevadas concentraciones en aguas subterráneas en estados del oeste (California, Arizona, Nevada).

Australia por otra parte es un país reconocido como un país minero, con grandes depósitos de hierro en el oeste de Australia, y minería de plomo-zinc y carbón en el Estado de Queensland. Adicionalmente, Australia desarrolló una minería intensiva de sus depósitos de asbestos, que además lo convirtió en el mayor usuario per cápita en la década de los 70.

Brasil tampoco está ajeno a estos problemas, con regiones mineralizadas (hierro) que han sido explotadas históricamente, y recientemente (2019) causado un desastre ambiental con la ruptura del tranque de relaves de la mina Córrego de Feijão, en el estado de Minas Gerais.

El caso de Canadá es especial, con regiones muy mineralizadas y producción de hierro, zinc, oro y diamantes, pero adicionalmente depósitos geológicos de petróleo y una producción importante, siendo el tercero a nivel mundial.

Existen también ejemplos en Alemania (con depósitos de carbón y minería de lignito en Alemania central), Italia (minería de silicatos y depósitos de mercurio) y México (productor número uno de plata en el mundo). En este sentido, se reconoce como la geología y mineralización han afectado el medio ambiente y puesto en riesgo la salud de las personas por actividades intensas como la minería y extracción de recursos naturales.

Sin embargo, más que evaluar estos casos en particular, se estima de utilidad revisar dónde los países han contemplado estos factores en establecer normativa, ya sea incluyendo el uso de concentraciones background en sus procesos de evaluación, o determinando métodos de evaluación particulares para uno u otro contaminante.

En este sentido, se ha encontrado que algunos países han incorporado la variabilidad geológica y en específico el enriquecimiento en ciertos minerales en su normativa. Por ejemplo, tanto Estados Unidos, Australia y Brasil incorporan el uso de background en algún aspecto de la manera en que se realizan las evaluaciones de sitios contaminados.

En el caso de España, el Real Decreto, no define valores de referencia para los metales, dejando que cada provincia pueda decidir cómo afrontar este problema, ya que aunque en su geología dominan las rocas sedimentarias existen zonas altamente mineralizadas. Como consecuencia de estas zonas mineralizadas, Andalucía, al igual que Chile, presenta valores altos de arsénico en sus suelos naturales. En este caso, la comunidad autónoma realizó un estudio de fondo geoquímico con el cual calculó el valor de referencia para el arsénico.

En Estados Unidos la USEPA indica que no se pueden establecer valores de remediación mayores a los background locales. De ocurrir esta situación, se debe evaluar como un problema de salud pública fuera de la prerrogativa de la autoridad ambiental y dentro del ámbito de la autoridad sanitaria. En Australia, la situación es similar, y la autoridad entrega fórmulas para el cálculo de background. Adicionalmente, en este país dada la situación histórica con el asbesto, se generó un sistema de evaluación de asbestos remanente en el suelo que no se encontró en otras normativas, el cual contempla el muestreo después de un sistema de tamizado en terreno y la determinación de asbestos peligroso (quebradizo) y menos peligroso (firme). En el caso de Brasil, son los estados los encargados de determinar los background (VRQ) para cada estado donde la existencia de concentraciones superiores en un sitio indicaría algún tipo de alteración.

1.12.2 Aspectos sociales, económicos y políticos

En el caso de los Países Bajos, la constante lucha por mantener y cuidar el suelo en una porción importante del país (dado su nivel más bajo que el mar), ha dado origen a su apreciación como patrimonio cultural del país. Esto se ha traducido en un interés en entender la función del suelo y desarrollar normativa para su protección como uno de los primeros países, en 1983. Dentro de la normativa se encuentran incluidos conceptos de responsabilidad común por la protección del suelo, y que el propósito de la remediación es reestablecer la "función del suelo" (*bodemfunctie*). En cuanto a normativa técnica, se han incluido metodologías innovadoras para llegar a este objetivo que son referenciadas por otras legislaciones.

Otro aspecto social que toca a los países es la inclusión de diferentes vías de exposición para la definición de los valores de referencia. Por ejemplo, en el caso de Australia, se entregan métodos específicos dentro de su normativa para el cálculo de riesgo por consumo de productos caseros (ver Sección 1.2.4.3), lo que se podría tomar como un reconocimiento de la autoridad que esta situación ocurre con cierta frecuencia. En contraste, otras normativas como por ejemplo la alemana, solo consideran la ingesta de suelo accidental y la vía de inhalación en cuanto a factores de exposición.

En cuanto a aspectos productivos, en Brasil se establecen provisiones especiales que tienen que ver con el uso de plaguicidas y fertilizantes donde la normativa indica que para el primero se debe realizar dentro de su periodo activo, y en el segundo caso este debe ser muestreado en periodo de cosecha, reconociendo lo habitual de estas aplicaciones dada la agricultura a gran escala que ocurre en el país.

Finalmente, existen otros aspectos ligados a decisiones científicas y políticas, que se relacionan con la definición de parámetros para la generación de valores de referencia. Entre estos están, qué factor de protección para riesgos cancerígenos adicionales se usará (este varía entre 10^{-4} a 10^{-6} de país a país), si considerar expresamente la exposición background (o sea, ingesta de contaminantes por otras vías diferentes a suelos, tales como agua o alimentos), el peso de un niño promedio, entre muchos otros. Incluso la disponibilidad de la información para el cálculo de los valores de referencia en una normativa específica puede tener un componente político. Esto es, en el caso de que se haga disponible fácilmente esta información, se podría alentar a la revisión de los valores y variarlos por los interesados de acuerdo a información sitio-específica, versus el que no esté esta información y hacer un sistema más cerrado y de rápida aplicación por las partes.

Con respecto a este punto, no es útil revisar cada uno de los factores mencionados anteriormente de cada una de las normativas, pues sería una tarea poco eficiente y que no sería costo-efectiva. Lo que sí importante es tomar en cuenta estos factores al momento de definir valores de referencia y metodologías para Chile.

1.13 Conclusiones de la evaluación de normativas ambientales

Todos los países revisados poseen instrumentos normativos específicos para el manejo de la contaminación de suelos, con entidades fiscalizadoras definidas y sistemas de gestión que indican el inicio de un proceso investigativo.

Si bien existen ciertas diferencias en los requerimientos de cada etapa de una investigación según la normativa, en general se pueden distinguir tres fases:

- Fase I – Identificación: Que corresponde a una investigación histórica y ambiental con o sin muestreo preliminar
- Fase II – Evaluación/confirmación: Que corresponde al diagnóstico de un sitio como contaminado o no, donde ocurren generalmente las evaluaciones de riesgo y desde donde se determina la necesidad de medidas urgentes o no.
- Fase III – Remediación: Que corresponde a la definición de medidas para gestionar la contaminación encontrada, incluyendo la delimitación de manera más precisa de los impactos, el estudio de alternativas de remediación y la implementación de estas.

En cuanto a los valores de referencia, en general estos están definidos para distintos usos de suelo y consideran como mínimo 2 usos como en el caso de Estados Unidos (residencial e industrial) o hasta 7 usos, como en el caso de Canadá (áreas abiertas naturales, áreas abiertas modificadas, agricultura, parque urbano, residencial de baja densidad, residencial de alta densidad, comercial e industrial). La excepción son los Países Bajos, los que no consideran usos de suelo, solo valores objetivo (que indican un posible riesgo) y de intervención (que indican necesidad de acciones).

Con respecto a este último punto, hay otras legislaciones que consideran tres niveles (ej. Alemania) o dos niveles (ej. Brasil), los que se pueden tomar como riesgo bajo, intermedio e inaceptable. El riesgo bajo, por

ejemplo, respondería a objetivos ambientales a largo plazo (background en el caso de Brasil) mientras que el inaceptable está ligado a la protección de la salud y la necesidad de acciones inmediatas. En cuanto a acciones estas incluyen remediación, restricciones en el uso de la tierra, urgencia para la remediación, otras investigaciones y / o la aplicación de una evaluación de riesgos específica del sitio.

En algunas normativas también están incluidos otros aspectos tales como la protección de las aguas subterráneas (ej. Alemania, Brasil, Canadá e Italia), protección de la salud por contaminantes volátiles en espacio intersticial del suelo y aguas subterráneas (ej. Australia), protección de biota (ej. Australia y Canadá), u otros como protección del agua subterránea para riego (Canadá). Esto no significa que estas consideraciones no existan en otras normativas, si no que pueden estar descritas en otros instrumentos como en el caso de Estados Unidos.

Existen países con una cantidad extensa de elementos normados (ej. Estados Unidos y Canadá) y otros con menor cantidad (Alemania). Sin embargo, los grupos de sustancias para las que se generan con mayor frecuencia los valores de referencia del suelo incluyen metales pesados y metaloides (ej. As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Ni, Zn), hidrocarburos aromáticos (por ejemplo, benceno, etilbenceno, tolueno, xilenos), aromáticos policíclicos hidrocarburos (por ejemplo, naftaleno, antraceno, benzo (a) antraceno, benzo (ghi) perileno, benzo (a) pireno), hidrocarburos alifáticos clorados (diclorometano, tricloroetileno, tetraclorometano), hidrocarburos aromáticos clorados (clorobenceno, hexaclorobenceno) y PCBs entre otros.

Por lo general, en los países los niveles de referencia se basan en la aplicación de exposición y parámetros toxicológicos. De manera general esto comprende la comparación de dosis máximas permisibles con las dosis a las que estarían expuestos los receptores bajo condiciones estándares para cada escenario para contaminantes no cancerígenos, y la determinación de riesgos de cáncer añadidos para contaminantes cancerígenos. No obstante, se pueden diferenciar países que utilizan los modelos desarrollados por la USEPA tales como Estados Unidos, Australia, Canadá, Italia y el modelo de los Países Bajos, adoptado también de manera general por Alemania. Las excepciones a esto último serían el País Vasco, donde en el caso de los inorgánicos estos corresponden al background geoquímico para los valores VIE-A (Los valores VIE-A indican alteración y los valores VIE-B son valores de riesgo) y Andalucía donde solo se indica que el arsénico corresponde al background (no se indica cómo se llegan a los valores para los contaminantes orgánicos). Finalmente, hay países para los cuales no se indica esta información (Brasil y México).

Existe variabilidad en los factores utilizados para el cálculo de los valores de referencia, tanto en si se utiliza o no un factor o el valor que se le asigna a este. Entre los más importantes se encuentra el riesgo cancerígeno añadido que varía de 10^{-4} a 10^{-6} entre los países (donde este es indicado), la exposición background a contaminantes (ej. 80% en Alemania, variable en Australia), si se utiliza un factor de seguridad (ej. Alemania), si se determina el contaminante como cancerígeno o no, las vías de exposición consideradas, si se toman en cuenta parámetros del suelo (ej. textura, cantidad de materia orgánica), y de manera importante si se considera o no el concepto de biodisponibilidad de un contaminante (y el valor que se le asigna a este parámetro). Para ilustrar cómo la variación de estos factores genera diferencias significativas en el cálculo de los valores de referencia, se muestra el caso del arsénico y del plomo para uso residencial.

Elemento	Andalucía	Alemania	Brasil (Sao Paulo)	Australia	Estados Unidos	Canadá (British Columbia)	México	Holanda*	Italia	País Vasco**
Arsénico	36	50	55	100	0,68	20	22	55	20	30
Plomo	275	400	300	300	400	120	400	530	100	150

*Valores de intervención

** VIE-B valores para la salud humana uso urbano

Algunos puntos importantes que explican algunas de estas diferencias:

- Andalucía y el País Vasco (valores VIE-A que corresponden con valores que indican alteración del suelo pero no riesgo para la salud) utilizan niveles background para los metales.
- Alemania considera solo vías de exposición de ingestión e inhalación de polvo, pero utiliza un factor de exposición background de 80% (vale decir que solo el 20% permisible puede venir del suelo).
- Australia considera la ingestión del arsénico a través del suelo como improbable de causar efectos cancerígenos. O sea, se considera como un contaminante con umbral (existe un valor máximo bajo el cual no causa efectos), y se basan en estudios recientes y argumentan que el enfoque de Estados Unidos esta desactualizado. Adicionalmente le entregan una biodisponibilidad de 70%.
- Estados Unidos considera el arsénico como un contaminante cancerígeno sin umbral (cualquier concentración ingerida tiene cierto potencial de causar efectos citotóxicos) y utiliza un nivel de riesgo de 1×10^{-6} y otorgan una biodisponibilidad de 100% lo que da un valor muy bajo
- No se estudió en profundidad los factores utilizados para el cálculo de valores del plomo, pero sí se puede establecer que tanto Estados Unidos como Australia utilizan el modelo IEUBK, que calcula niveles de referencia en suelos basados en valores objetivo para la sangre de 10 ug/dL. Esto se refleja en su similitud (que también comparten con Andalucía, Alemania, Sao Paulo).
- No se indica en la normativa la forma de cálculo para plomo de Andalucía.
- No se indica la forma de cálculo de nivel de referencia para plomo o arsénico de México y Brasil.

2 Actividad 2.2 Elaborar criterios de comparabilidad entre los países y Chile, a fin de identificar los países que se acercan más a la realidad nacional

Como una manera de resumir y rescatar aspectos relevantes de las normativas revisadas, se estimó conveniente establecer criterios para poder realizar una comparativa con estos aspectos en Chile. Estos criterios están divididos en tres grandes grupos que corresponden a: aspectos normativos y de gestión; aspectos técnicos y metodológicos; y aspectos geográficos, geológicos, sociales, económicos y políticos.

Posteriormente, en la Sección 2.4 se realiza una discusión de cada aspecto anteriormente evaluado de cada normativa en cuanto a la realidad chilena (donde hubiese información).

Posterior a esto, se consolidaron los aspectos principales a comparar en dos tablas, las que corresponden a “aspectos normativos y de gestión” y “aspectos técnicos y metodológicos”. En esta última se encuentran los aspectos referentes a aspectos geográficos, geológicos, sociales, económicos y políticos.

2.1 Aspectos normativos y de gestión

2.1.1 Normativo nacional

Se identifica el sistema de gobierno y la normativa nacional relevante al manejo de sitios potencialmente contaminados y se indica los aspectos principales que cubre esta normativa.

2.1.2 Normativo estatal/regional

Se identifican instrumentos normativos a nivel estatal, de comunidad o provincia relevante al manejo de sitios potencialmente contaminados y se indica los aspectos principales que cubre esta normativa.

2.1.3 Entidad fiscalizadora

Se identifica quien tiene la competencia en materia de suelos contaminados y sus atribuciones.

2.1.4 Gestión

Se identifican instrumentos de gestión para llevar un catastro de sitios/suelos contaminados, responsabilidades y requerimientos de quien puede realizar una investigación.

2.1.5 Requerimiento para inicio de proceso de investigación

Qué criterios utilizan para definir cuándo se inicia un proceso de investigación de sitio contaminado o quién tiene que estar sometido a un proceso de definición de calidad de suelo.

2.2 Aspectos técnicos y metodológicos

2.2.1 Fase I

Se identifican requerimientos para la realización de una Fase I, el nombre específico que se le da en cada normativa y quien es responsable del proceso.

2.2.2 Fase II

Se identifican requerimientos para la realización de una Fase II, el nombre específico que se le da en cada normativa a este proceso y quien es responsable de efectuarlo.

2.2.3 Remediación

Se detallan los requerimientos del proceso de remediación y los pasos específicos en cada normativa, además de otros requerimientos particulares a cada legislación.

2.2.4 Muestreo

Se indica si existen requerimientos especiales para la realización del muestreo como parte de un proceso de investigación y cuáles son estos.

2.2.5 Niveles de referencia

Qué criterios utilizan para definir un suelo como contaminado, los diferentes niveles de referencia y sus implicancias. Además, se indica a qué receptores se busca proteger y qué grupo de sustancias se apuntan.

2.2.6 Otros

Se identifican particularidades de cada sistema de evaluación ya sea en cuanto a muestreo, niveles de referencia u otros. Se enfoca en particular a aspectos rescatables que pudiesen ser de utilidad para el caso chileno.

2.3 Factores naturales, sociales y económicos

Corresponden a aspectos relevantes de los países estudiados, que tienen que ver con geología/geografía, y temas sociales, económicos y políticos, que hayan influido en la definición de normativas y/o instrumentos de gestión de suelos. Cabe notar que en general estos aspectos no influyen mayormente, salvo de manera tangencial en la valoración de parámetros técnicos.

2.4 Situación actual en Chile con respecto a los aspectos evaluados

Con el fin de poder realizar una comparación entre los distintos países seleccionados y Chile, es necesario discutir la situación actual en el país. Esto se realizará con respecto a los mismos aspectos (criterios) evaluados en esta sección a continuación.

2.4.1 Aspectos normativos

2.4.1.1 Normativa nacional

En Chile no existe normativa exclusiva para el componente suelo como tal, sino más bien su tratamiento se ha dado de manera más sanitaria que desde otro punto de vista. A continuación, podemos observar cuáles de ellas tratan respecto del suelo.

- La Ley N°19.300 Sobre bases generales del medio ambiente. En el artículo 70 letra g) se menciona que corresponde al Ministerio del Medio Ambiente “Proponer políticas y formular normas, planes y programas en materia de residuos y suelos contaminados, así organismos genéticamente modificados y otras sustancias que puedan afectar el medio ambiente, sin perjuicio de las atribuciones de otros organismos públicos en materia sanitaria. Además, establece qué proyectos o actividades deben ingresar al sistema de evaluación de impacto ambiental (SEIA) en donde se indica en su artículo 10 literal o) Proyectos de saneamiento ambiental, tales como sistemas de alcantarillado y agua potable, plantas de tratamiento de aguas o de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, emisarios submarinos, sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos o sólidos.
- El Decreto Supremo 40/2012 del Ministerio del Medio Ambiente que establece el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. En este reglamento se profundizan y detallan los proyectos o actividades que deben ingresar al SEIA, en donde el artículo 3° letra o.11) se refiere a la remediación de suelos señalando: Reparación o recuperación de áreas que contengan contaminantes, que abarquen, en conjunto, una superficie igual o mayor a diez mil metros cuadrados (10.000 m²), salvo que se trate de medidas que formen parte de una propuesta de plan de reparación a que se refiere el artículo 43 de la Ley Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente, cuyo texto fue fijado por el artículo segundo de la Ley N° 20.417, caso en el cual se aplicará lo dispuesto en dicha disposición y en su Reglamento. Se entenderá por tratamiento las actividades en las que se vean modificadas las características químicas y/o biológicas de las aguas o residuos. Quedan excluidas expresamente las actividades

relacionadas con la selección, segregación y manipulación de residuos sólidos que no contemplen reacciones químicas ni biológicas en sus procesos.

Además, el RSEIA trata el componente suelo de manera particular a raíz de los permisos ambientales. En su artículo 107 señala “Todos los permisos de carácter ambiental, que de acuerdo con la legislación vigente deban o puedan emitir los órganos de la Administración del Estado, respecto de proyectos o actividades sometidos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, serán otorgados a través de dicho sistema, de acuerdo a las normas de la Ley y el presente Reglamento”.

El artículo 144 contiene el Permiso para instalaciones de eliminación de residuos peligrosos, el cual indica que se trata del mismo permiso establecido en el artículo 44 del D.S 148/2003 MINSAL, Reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos. En su inciso segundo destaca su finalidad señalando “El requisito para su otorgamiento consiste en que toda planta o estructura destinada a la eliminación de residuos peligrosos no afecte la calidad del agua, aire, suelo que pueda poner en riesgo la salud de la población”.

Para obtener la aprobación del este PAS, el artículo señala una serie de requisitos, dentro de los cuales destaca el de la letra e) que señala lo siguiente: “De tratarse de instalación de eliminación de residuos especiales: e.2) Medidas adoptadas para minimizar el impacto sobre aire, agua y suelo”.

- Código Sanitario: En el Código Sanitario no se encuentran normas específicas referidas a contaminación de suelos. Con todo, sí es posible inferir un deber general de la autoridad sanitaria de prevenir la contaminación en términos amplios, dado por el artículo 67 de la normativa en cuestión (“Corresponde al Servicio Nacional de Salud velar porque se eliminen o controlen todos los factores, elementos o agentes del medio ambiente que afecten la salud, la seguridad y el bienestar de los habitantes en conformidad a las disposiciones del presente Código y sus reglamentos.”). En la materia, se especifican obligaciones asociadas a la provisión de agua potable para la población, contaminación del aire y ruidos y vibraciones, entre otras.

Ahora, y sin perjuicio a lo señalado, el artículo 11 del Código Sanitario, a propósito de la gestión sanitaria de los residuos, entrega atribuciones a las municipalidades que pueden ser relevantes para nuestro análisis:

- *proveer a la limpieza y a las condiciones de seguridad de sitios públicos, de tránsito y de recreo;*
- *recolectar, transportar y eliminar por métodos adecuados, a juicio del Servicio Nacional de Salud, las basuras, residuos y desperdicios que se depositen o produzcan en la vía urbana;*
- *velar por el cumplimiento de las disposiciones que sobre higiene y seguridad se establecen en la Ordenanza General de Construcciones y Urbanización;*
- *reglamentar y controlar las condiciones de limpieza y conservación exterior de las casas-habitación, fábricas, edificios públicos, cuarteles, conventos, teatros y otros locales públicos y particulares⁴⁵.*

En la materia, también vale la pena destacar la obligación de coordinación y condición de último eslabón de los permisos que otorgan las municipalidades, lo que se establece en el artículo 15: “...no podrán otorgar patentes ni permisos definitivos para el funcionamiento de locales o para el ejercicio de determinadas actividades que requieran de autorización del Servicio Nacional de Salud, sin que previamente se les acredite haberse dado cumplimiento a tal requisito”. Si esto no se cumple, los permisos o patentes pueden ser declarados nulos y las municipalidades deben cancelarlos; sumado a

⁴⁵ Código Sanitario, artículo 11

que la autoridad sanitaria puede clausurar o detener cualquier actividad en contravención a esta norma.

En cuanto a residuos en general, se indica en el artículo 80 que es la autoridad sanitaria quien debe autorizar: *“...la instalación y vigilar el funcionamiento de todo lugar destinado a la acumulación, selección, industrialización, comercio o disposición final de basuras y desperdicios de cualquier clase”* y, sumado a ello, que dichas autorizaciones determinarán: *“...las condiciones sanitarias y de seguridad que deben cumplirse para evitar molestia o peligro para la salud de la comunidad o del personal que trabaje en estas faenas.”* Estas facultades también se extienden a los vehículos que transportan residuos.

En cuanto a la actividad industrial este Código otorga a la autoridad sanitaria en su artículo 84 la facultad para *“...disponer el traslado de aquellas industrias o depósitos de materiales que, a su juicio, representen un peligro para la salud, seguridad y bienestar de la población.”*

Por su parte, el artículo 86 entrega facultades a la autoridad sanitaria respecto a la instalaciones radiactivas, específicamente en lo referente a la producción, fabricación, adquisición, posesión, uso, manipulación, almacenamiento, importación, exportación, distribución, venta, transporte, abandono o desecho de sustancias radiactivas que se utilicen o mantengan en las instalaciones radiactivas o en los equipos generadores de radiaciones ionizantes, deberán ser autorizados por dichos Servicios. Además, cuenta con facultades para el control de las instalaciones radiactivas y de los equipos generadores de radiaciones ionizantes; y la prevención de los riesgos derivados del uso y aplicación de las sustancias radiactivas y de las radiaciones ionizantes, respecto de las personas expuestas, del elemento que las genera y del medio ambiente.

En relación con las sustancias peligrosas, el artículo 90 indica que se reglamentará al respecto a las condiciones en que podrá realizarse la producción, importación, expendio, tenencia, transporte, distribución, utilización y eliminación de las sustancias tóxicas y productos peligrosos de carácter corrosivo o irritante, inflamable o comburente; explosivos de uso pirotécnico y demás sustancias que signifiquen un riesgo para la salud, la seguridad o el bienestar de los seres humanos y animales. Del mismo modo trata aquello referente a los pesticidas.

Finalmente, en el Libro VIII, se trata lo referente a las inhumaciones, exhumaciones y traslado de cadáveres, señalando que solo en cementerios legalmente autorizados podrá efectuarse la inhumación de cadáveres o restos humanos. Además, otorga la facultad exclusiva a la autoridad sanitaria para autorizar la instalación y funcionamiento de cementerios, crematorios, casas funerarias y demás establecimientos semejantes; y remite a un reglamento las normas para ello.

- [D.S 148/2003](#) Ministerio de Salud que Aprueba el reglamento sanitario sobre residuos peligrosos. Este reglamento considera diversas normas asociadas a la contaminación de suelos, principalmente en relación con las condiciones requeridas para disponer o eliminar residuos de naturaleza peligrosa en él.

Para comprender de mejor manera la regulación, debemos tener en consideración que la norma entiende por disposición final el *“procedimiento de eliminación mediante el depósito definitivo en el suelo de los residuos peligrosos, con o sin tratamiento previo”* (artículo 3).

También es relevante tener en consideración que se podrá determinar un residuo tiene la característica de toxicidad extrínseca cuando, de disponerse en el suelo, se desarrolle el *test* de toxicidad por lixiviación y supere los umbrales establecidos en la norma (artículo 14).

En otra materia importante, cabe decir que los suelos en sí pueden configurarse como residuos peligrosos. Lo anterior, cuando ellos sean suelos o materiales resultantes de faenas de movimientos

de tierras contaminadas por alguno de los constituyentes listados en la Categoría II del artículo 18 de la misma normativa (ej.: mercurio, berilio, arsénico).

En el punto, cuando los suelos se consideren residuos peligrosos en sí, podrán eliminarse en el mismo lugar en que se encuentren ubicados. Lo anterior, a través de sistemas de disposición de carácter especial que serán autorizados por la Autoridad Sanitaria en base a la evaluación de riesgo que ella haga para cada caso. Para estos efectos, el interesado deberá presentar un proyecto específico que asegure el control de todos los riesgos que puedan afectar la salud de la población, pudiendo la autoridad sanitaria fijar las restricciones de uso a que quedarán sometidos estos suelos, así como los procedimientos de monitoreo y mantenimiento a que dichos sitios deberán ser sometidos.

Los sistemas propuestos deberán garantizar la retención, inmovilización, aislamiento o solidificación de los residuos o, en su defecto, su tratamiento, de tal manera de minimizar la migración de los contaminantes al medio ambiente. Además, el proyecto deberá contar con un detallado plan de las operaciones incluyendo todos los controles necesarios para evitar la dispersión o migración de contaminantes a través del suelo, el aire o el agua, que puedan significar un riesgo para la salud y/o seguridad de la población y de los trabajadores que participen en el manejo de estos residuos. Todo lo anterior se encuentra regulado en el artículo 78 del cuerpo normativo en análisis.

Sin perjuicio de otras disposiciones que abordan indirectamente la materia, corresponde señalar que, a propósito de las instalaciones de incineración, el reglamento se refiere específicamente de emisiones a nivel de suelo: El diseño de una Instalación de Incineración deberá contemplar una chimenea y los demás equipos que sean necesarios para asegurar que las emisiones a nivel del suelo no provoquen una contaminación que ponga en riesgo la salud (artículo 74).

Finalmente, cabe hacer presente el tratamiento que hace esta norma respecto de los residuos mineros, señalando en el artículo 23 que los estériles, minerales de baja ley, residuos de minerales tratados por lixiviación, relaves y escorias, que provengan de las operaciones de extracción, beneficio o procesamiento de minerales, no serán considerados peligrosos. Sin perjuicio de lo anterior, la autoridad sanitaria, podrá, en casos calificados, requerir de un generador la caracterización de sus residuos mineros masivos y, a su vez, en todo caso muestrear, analizar y caracterizar la peligrosidad de dichos residuos toda vez que lo estime oportuno.

Respecto a la eliminación de los residuos mineros masivos caracterizados como peligrosos por presentar toxicidad extrínseca, esta norma los trata como un proceso de eliminación especial, regulado en los artículos 78 y 79, permitiendo realizarse en el mismo lugar en que se encuentren ubicados. Para lo anterior, se debe presentar a aprobación sanitaria un sistema que garantice la retención, inmovilización, aislamiento o solidificación de los residuos o, en su defecto, su tratamiento, de tal manera de minimizar la migración de los contaminantes al medio ambiente. Además, el sistema propuesto deberá contar con un detallado plan de las operaciones, incluyendo todos los controles necesarios para evitar la dispersión o migración de contaminantes a través del suelo, el aire o el agua, que puedan significar un riesgo para la salud y/o seguridad de la población y de los trabajadores que participen en el manejo de estos residuos.

- Ley 20.551, que regula el cierre de faenas e instalaciones minera. Esta norma tiene como objetivo, según se indica en su artículo 1, que las faenas mineras cuenten con un plan de cierre, el que *“es la integración y ejecución del conjunto de medidas y acciones destinadas a mitigar los efectos que se derivan del desarrollo de la industria extractiva minera, en los lugares en que ésta se realice, de forma de asegurar la estabilidad física y química de los mismos, en conformidad a la normativa ambiental aplicable. La ejecución de las medidas y acciones de la manera antes señalada deberá otorgar el debido resguardo a la vida, salud, seguridad de las personas y medio ambiente, de acuerdo a la ley.”*

Resulta relevante para el presente estudio la definición que entrega del concepto de estabilidad química, el cual comprende como componente al suelo, definiéndola de la siguiente manera: *“Situación de control en agua, en aire y en suelo de las características químicas que presentan los materiales contenidos en las obras o depósitos de una faena minera, cuyo fin es evitar, prevenir o eliminar, si fuere necesario, la reacción química que causa acidez, evitando el contacto del agua con los residuos generadores de ácidos que se encuentren en obras y depósitos masivos mineros, tales como depósitos de relaves, botaderos, depósitos de estériles y rípios de lixiviación.”*⁴⁶

Esta ley señala de manera expresa que los planes de cierre de faenas mineras corresponden a un permiso sectorial, el que a su vez se encuentra contenido como un permiso ambiental sectorial (PAS) mixto en el artículo 137 del D.S 40/2012 Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (RSEIA). Además, agrega en el mismo artículo que se refiere que el plan de cierre original deberá ser elaborado en conformidad con la resolución de calificación ambiental (RCA) previamente aprobada, de forma tal de asegurar el cumplimiento de las obligaciones de reparación, mitigación o compensación diversas a las prescritas por esta ley, respecto de los predios superficiales, en conformidad a la ley N° 19.300 y la normativa ambiental aplicable.

Finalmente, cabe indicar que en caso de incumplimientos parciales de los planes de cierre de faenas mineras, el legislador consideró el hecho de si coinciden también con incumplimiento de una RCA y, en dicho caso, obliga a Sernageomin a resolver previo informe vinculante de la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA), sin perjuicio de las facultades fiscalizadoras y sancionatorias de la misma⁴⁷.

- D.S 248/2006 Ministerio de Minería, Reglamento para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves. Cabe hacer presente que dentro de las consideraciones que contiene esta norma, la primera señala que el reglamento se dicta ante la necesidad de proteger la salud y seguridad de las personas, la protección del medio ambiente y la utilización racional de los recursos naturales⁴⁸.

Dentro de los requisitos para la presentación de los proyectos de construcción y operación, se deben acompañar estudios geológicos, dejando en manos de Sernageomin las características y detalles del mismo.

Por otro lado, en el artículo 20 señala que deberán incorporarse al proyecto las condiciones específicas de diseño de ingeniería, que satisfagan los compromisos ambientales adquiridos en la RCA respectiva. Finalmente, en cuanto al cierre definitivo del relave, esta norma no remite a los planes de cierre de la Ley 20.551, sino que solamente a los señalados en el Reglamento de Seguridad Minera.

- D.S 132/2002 Reglamento de Seguridad Minera. Esta norma tiene dos objetivos: 1. Proteger la vida e integridad física de las personas que se desempeñan en dicha Industria y de aquellas que bajo circunstancias específicas y definidas están ligadas a ella; y 2. Proteger las instalaciones e infraestructura que hacen posible las operaciones mineras, y por ende, la continuidad de sus procesos. Sin perjuicio de ello, comprende en su capítulo quinto obligaciones ambientales dentro de las cuales se exige contar con RCA aprobada para que Sernageomin autorice el funcionamiento de la faena minera, sin perjuicio de que pueda conocer y estudiar los antecedentes del mismo antes de la aprobación de la RCA.

En su artículo 68 indica que se deben mantener bajo permanente control las emisiones de contaminantes al ambiente, en cualquiera de sus formas, cuyos índices deben permanecer bajo las

⁴⁶ Ley 20.551, artículo 3 letra h)

⁴⁷ Ley 20.551 artículo 44 N°2

⁴⁸ D.S 248/2006 Ministerio de Minería, considerando 1°

concentraciones máximas que señale RCA, sobre la base de los compromisos ambientales adquiridos. Deberá contar, además, con los medios y procedimientos aprobados para disponer los residuos y desechos industriales. Por último, indica la norma en su artículo 70 que el depósito y/o tratamiento de desechos de cualquier naturaleza, que se generen en los procesos mineros, deberá hacerse de acuerdo a compromisos ambientales y bajo las normas que, para tal efecto, dispongan los organismos nacionales competentes

- D.S 4/2009 Ministerio Secretaría General de la República Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas. En atención a que los lodos que generan las plantas de tratamiento pueden ser un aporte para suelos degradados, por su contenido orgánico, pero también pueden constituir un foco de contaminación, por su contenido en metales pesados y otros contaminantes, este reglamento establece la clasificación sanitaria de los lodos y las exigencias sanitarias mínimas para su manejo, además de las restricciones, requisitos y condiciones técnicas para la aplicación de lodos en determinados suelos.

Esta norma entrega una definición de suelo, señalando que este se entiende como un “*Cuerpo natural tridimensional que forma parte de la corteza terrestre y cuyo segmento superior está en contacto con la atmósfera. Constituye el hábitat natural de las raíces de los vegetales y de complejas comunidades bióticas. La productividad del suelo se mide por su capacidad periódica de sintetizar biomasa vegetal*”⁴⁹ Para disponer en el suelo los lodos que una planta de tratamiento genere, este reglamento exige que el generador presente un Plan de Aplicación de Lodos al Suelo, el cual debe ser autorizado por la correspondiente Dirección Regional del SAG y por la Seremi de Salud.

Lo relevante de esta norma es el hecho que establece un máximo de concentraciones de determinados metales pesados que pueden contener los suelos receptores previos a la aplicación de los lodos como se indica en la Tabla 1 del artículo 22, como así también se establece un máximo de lo mismo pero referente a los lodos que se aplican sobre el suelo, según se indica en la Tabla 2 del artículo 24, las cuales se pueden observar a continuación.

Tabla 1. Concentraciones máximas de metales en suelo receptor

Metal	Concentración máxima en mg/kg suelo (en base materia seca) ¹		
	Macrozona norte		Macrozona Sur
	pH >6,5	pH ≤6,5	pH >5
Arsénico	20	12,5	10
Cadmio	2	1,25	2
Cobre	150	100	75
Mercurio	1,5	1	1
Níquel	112	50	30
Plomo	75	50	50
Selenio	4	3	4
Zinc	175	120	175

¹ Concentraciones expresadas como contenidos totales

⁴⁹ D.S 4/2009 Ministerio Secretaría General de la República Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas, artículo 4 letra p)

Tabla 2. Concentraciones máximas de metales en lodos para aplicación al suelo

Metal	Concentración máxima en mg/kg. de sólidos totales (base materia seca) ¹	
	Suelos que cumplen los requisitos establecidos en este título	Suelos degradados que cumplen los requisitos establecidos en este título
Arsénico	20	40
Cadmio*	8	40
Cobre	1000	1200
Mercurio*	10	20
Níquel	80	420
Plomo*	300	400
Selenio*	50	100
Zinc	2000	2800

¹ Concentraciones expresadas como contenidos totales.

En aquellos suelos que posean una mayor concentración de metales pesados a las señaladas en la tabla 1 sin haber sido receptores de lodo, se permitirá sólo una aplicación de una tasa máxima de 30 ton/ha⁵⁰.

Cuando las concentraciones totales de cadmio, mercurio, plomo y selenio superen los valores de 20, 4, 100 y 20 mg/kg. respectivamente, se deberá demostrar que estos lodos no son peligrosos de acuerdo a lo establecido en el DS 148/2003 del Ministerio de Salud⁵¹.

- Ley de Polimetales

La ley 20.590, que establece un programa de intervención en zonas con presencia de polimetales en la comuna de Arica, surge en medio del problema medioambiental y de salud de la población en la comuna señalada, en donde existen sectores con alta presencia de polimetales, en particular plomo, lo cual generó por largos años afectación a sus habitantes.

La contaminación referida se produjo por la existencia de desechos tóxicos provenientes de Suecia, relaves de Promel Chile en Arica, concentrados de plomo provenientes de Bolivia al Puerto de Arica y, sumado a todo ello, desechos tóxicos en Copaquilla.

Esta situación de contaminación, que ha sido de conocimiento público y corroborada por estudios y muestreos realizados por organismos públicos y privados, así como la revisión de normas y referencias internacionales sobre la materia. Los minerales desechados o procesados presentan altos contenidos de plomo y arsénico, sumado a otra fuente de exposición ha sido el almacenamiento y tránsito de ferrocarriles y camiones con minerales con alto contenido de plomo⁵².

⁵⁰ D.S 4/2009 Ministerio Secretaría General de la República Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas, artículo 23 inciso 2°

⁵¹ D.S 4/2009 Ministerio Secretaría General de la República Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas, artículo 24 inciso 2°

⁵² Historia de la Ley 20.590, página 56

Las principales fuentes de exposición han sido el sector conocido como Sitio F, los acopios depositados e ingresados desde Suecia el año 1984 y el procesamiento de metales y relaves por parte de privados.

Frente a esta situación el Gobierno dispuso la elaboración de un plan de maestro de intervención en Arica para afrontar la contaminación por polimetales, el que debía contemplar medidas en el ámbito de salud, educación y vivienda, incluyendo relocalización de viviendas si fuere necesario, entre otros ámbitos de acción.

Esta ley tiene como objeto asegurar la continuidad y ejecución del denominado “Programa Maestro de Intervención Zonas con Presencia de Polimetales en Arica” que se hizo cargo de la problemática ambiental y de salud de la población. Para ello se genera este proyecto de ley, el que finalmente lo que hace es una delegación legislativa, es decir, que el Congreso entregue parte de sus facultades al poder Ejecutivo, de manera de garantizar la continuidad y financiamiento del programa señalado. Por lo tanto, no tiene por objetivo regular la contaminación del suelo y los efectos en la salud humana.

En virtud de lo señalado, permite hacer una parte de la implementación de la etapa III de la Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes, es decir, dado que fija el financiamiento para la evaluación de riesgo a la salud humana (solo de un caso puntual), pero no así el marco jurídico que permita la gestión de los suelos contaminados que defina y deslinde qué se entiende por contaminación de suelo y hasta qué punto la salud humana no está en riesgo con la exposición a ella.

- La Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes y sus Anexos del Ministerio de Medio Ambiente (2013), aprobada mediante la Resolución Exenta N° 406. Esta guía establece la metodología para:
 - Fase I: La realización de la identificación priorización y jerarquización de suelos contaminados
 - Fase II: Evaluación preliminar sitio-específica del riesgo
 - Fase III: Evaluación del riesgo y plan de acción para su gestión.
 Sin embargo, esta guía no establece valores de referencia, haciendo alusión a la utilización de normas internacionales que se adapten al proyecto específico
- Guía de Evaluación de Impacto Ambiental Riesgo para La Salud de la Población en el SEIA. Esta guía especifica la metodología para la realización el estudio de riesgo. Fue realizada por el SEIA en colaboración con el Ministerio de Medio Ambiente y el Ministerio de Salud.
- Normas primarias de calidad. Existen normas primarias en materia, sobre todo de aire. Aquellos que sobrepasen los valores de la norma primaria se consideran valores de riesgo para la salud. Sin embargo, esto no es aplicable a la matriz de suelo, ya que los valores de referencia suelen ser valores de alerta que indican la necesidad de investigar para verificar si existe un riesgo. Esto se debe a que los valores de referencia son muy conservadores. La estructura de estas normas de calidad primaria las podemos explicar en las Figura 22 y Figura 23.

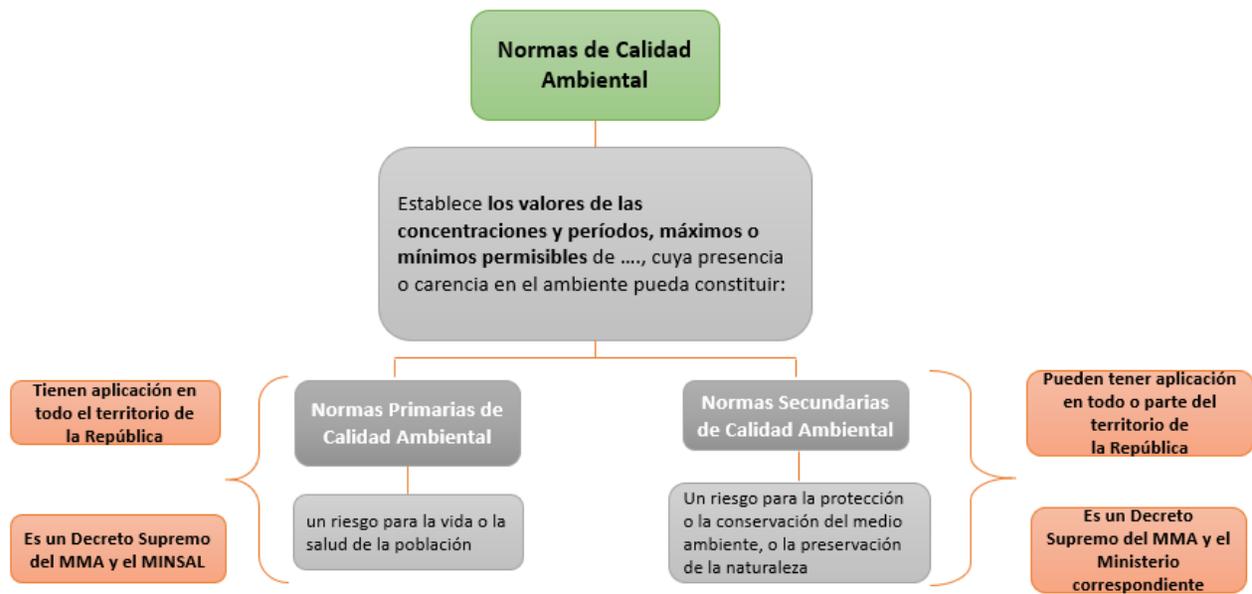


Figura 22 - Normas de calidad ambiental

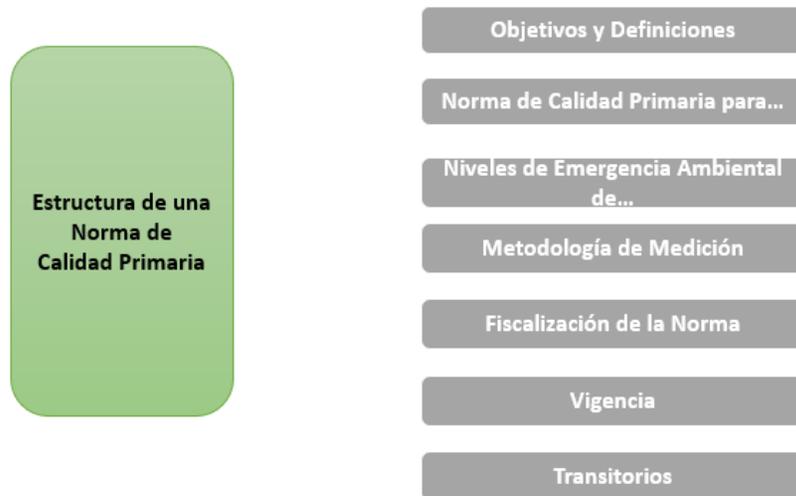


Figura 23 - Estructura de una Norma de Calidad Primaria

2.4.1.2 Entidad fiscalizadora

Con respecto a las entidades fiscalizadoras, dado el tipo de leyes y decretos existentes en Chile, no existe un único ente fiscalizador en materia de contaminación de suelos, ya que esto dependerá del evento que gatille la investigación de suelos o el proceso que se siga.

- En el caso de cumplir con el numeral 0.11 del D.S. 40/2012 (RSEIA), la SMA será la responsable de fiscalizar el proyecto de investigación y remediación de suelos, siempre y cuando exista un proyecto

de remediación, ya que será este el que ingrese en el SEIA. No existe ninguna fiscalización para aquellos sitios que deciden realizar la investigación de suelos hasta que se decide ejecutar la remediación, ya que es en este proceso que ingresa en el SEIA y es sometido a evaluación. En este sentido, si un sitio no entra al SEIA por el numeral 0.11, el proceso de remediación puede en teoría realizarse sin dirección, estándares o fiscalización de la autoridad con los consiguientes riesgos que esto conlleva.

- El Ministerio del Medio Ambiente (a través de la SMA), puede ordenar una investigación de suelos como consecuencia de una denuncia, accidente (tipo derrame) o sospecha de que pueda existir un riesgo para la salud humana.
- En todos aquellos casos en que las investigaciones cuenten con una evaluación de riesgos a la salud humana, en la práctica ciertos aspectos pueden ser revisados por el ministerio de salud.

2.4.1.3 Gestión de suelos contaminados

En materia de gestión de suelos contaminados, no existe un instrumento específico que establezca valores de referencia mínimos que permitan una adecuada gestión, sin embargo, recientemente se han definido los *Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes* (SPPC) que corresponden a aquellos en los que se han desarrollado o realizan actividades potencialmente contaminantes, pudiendo estar abandonados o activos, según definición del MMA. Por el momento esto no tiene fuerza vinculante, porque las guías no son instrumentos de gestión ambiental, no obstante, ya se han realizado estudios para identificar estos, tales como:

- En la región de Antofagasta, donde, siguiendo la guía metodológica se han identificado aquellos sitios con potencial presencia de contaminantes, se han jerarquizado y adicionalmente se han realizado estudios de Fase II y Fase III en los sitios fiscales y los considerados como abandonados. Este es el estudio más actual y de mayor escala que se ha realizado, que incluye todas las fases de la guía.
- En otras regiones principalmente en la zona norte del país, también se han realizado catastros de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes (SPPCs), y se ha complementado los estudios con las siguientes fases, pero en otras no se ha avanzado en el resto de las fases (tales como en las regiones de Ñuble y Biobío).
- Existen además regiones que cuentan con planes de descontaminación o estudios de detalle, como Copiapó y Tierra Amarilla, donde el abandono de relaves en lugares poblados ha generado problemas en salud.

2.4.1.4 Requerimiento para inicio de proceso de investigación

En Chile se inician investigaciones sobre suelos contaminados ya sea porque estos ingresan al SEIA por el literal 0.11, el SEA toma nota de contaminación del suelo, la autoridad de salud lo indica como requerimiento dentro de un sumario sanitario, el Tribunal Ambiental lo dictamina, o el Ministerio del Medio Ambiente toma interés en un área ya sea por preocupaciones de la comunidad o como parte del desarrollo de catastros (y en miras de desarrollo de instrumentos de gestión). Cabe notar que a pesar de que las investigaciones del MMA pueden ser y han sido realizadas también en terreno privados, las labores de remediación de los sitios o la ejecución de planes de acción solo pueden ser realizadas en terrenos públicos. Esto ya que el estado no puede utilizar fondos públicos en acciones de mejoramiento, que pudiesen aumentar el valor de una propiedad privada.

2.4.2 Requerimientos técnicos

Los requerimientos técnicos se encuentran indicados en la “Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes⁵³” del Ministerio del Medio Ambiente. Por otro lado, para la realización de la evaluación de riesgos existe una guía de “Riesgos para la Salud de la Población”⁵⁴ realizada por SEA con la colaboración del Ministerio de Salud y del Ministerio del Medio Ambiente.

2.4.2.1 Fase I

En la guía metodológica la Fase I está enfocada a la realización de un catastro, priorización y jerarquización de sitios contaminados, por lo que existe un listado de actividades potencialmente contaminante. En la Fase I se ha de realizar una visita al sitio y una recopilación de antecedentes, estudio histórico y localización geográfica del sitio. Se ha de completar una ficha que acabará otorgando un nivel de jerarquización del SPPC, indicando la urgencia de continuar con la investigación.

2.4.2.2 Fase II

La Fase II se encuentra dividida en 2 etapas

- La investigación preliminar: incluye el estudio histórico del sitio, el medio físico, el estudio de los receptores y el modelo conceptual preliminar además de una visita de reconocimiento a terreno.
- Investigación confirmatoria: es en etapa se realiza una revisión de la información existente y se ejecuta un plan de muestreo y análisis del suelo con el objetivo de comparar los resultados con valores de referencia. Sin embargo, la guía no cuenta con valores de referencia. La guía indica que en caso de superar los valores de referencia será necesario continuar con la investigación.

2.4.2.3 Fase III

Primeramente, se deberá realizar una campaña de terreno para delimitación de la contaminación de los contaminantes de interés detectados. Además de caracterizar el medio y recopilar los datos necesarios para la realización de un análisis de riesgo sitio específico. Esto incluye el estudio de los posibles receptores, tiempos de exposición, etc.

La Guía SPPC y la Guía de Evaluación de Impacto Ambiental Riesgo para la Salud de la Población en el SEIA contienen metodologías similares y establece que el riesgo admisible para sustancias cancerígenas se encuentra entre 10^{-4} y 10^{-6} . Sin embargo, la guía del SEIA dice: “El Ministerio de Salud no ha definido un criterio oficial sobre riesgo aceptable, sin embargo, instruirá a sus equipos regionales para el análisis caso a caso de las evaluaciones de riesgo para la salud propuestas por los titulares, basándose en el principio precautorio”. Para los contaminantes no cancerígenos se considera que los valores menores a uno se consideran aceptables.

A través de la evaluación de riegos, se puede realizar también una definición de valores objetivo de remediación. Se trata de realizar una simulación inversa, en la que se evalúa cual es el nivel máximo permitido

⁵³ <http://www.cenma.cl/Pagina%20web-LQA/4-Gesti%C3%B3n%20de%20SPPC/Guia%20Metodologica%20gestion%20SPPC.pdf>

⁵⁴ https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/migration_files/20121109_GUIA_RIESGO_A_LA_SALUD.pdf

del contaminante en la zona de estudio según los receptores, tiempo de exposición y valores medidos en el sitio.

Una vez evaluado el riesgo, en caso de que este exista, la guía indica la necesidad de realizar una gestión del sitio y remediación. Además, existe un “Manual de Tecnologías de remediación de sitios contaminados”⁵⁵ elaborado por Corfo y la Fundación Chile.

2.4.2.4 Niveles de referencia y otros

En Chile no existen niveles de referencia del suelo y se designa una lista de países en el RSEIA desde donde se pueden obtener estos para realizar una evaluación de suelos contaminados, sin embargo, no se indican cuáles se debiesen usar, sumado al hecho de que el RSEIA regula solo actividades o proyectos sometidos al SEIA. Esto puede generar un mal uso de los niveles listados, incluso acomodándose a lo que necesite quien está evaluando el sitio. En el RSEIA no se indica el uso del sistema de evaluación de riesgos de la EPA (USEPA *Risk Assessment Guidance for Superfund*)⁵⁶, lo que sería apropiado en ausencia de niveles de referencia.

2.4.3 Aspectos geográficos, geológicos, sociales, económicos y políticos

Con respecto a los aspectos naturales de Chile, se puede destacar la variedad geográfica que existe a lo largo del país, que determina también aspectos geológicos, como la gran mineralización que existe en la zona norte y que implica tener altos valores naturales de metales en los suelos. En la zona austral destacan los yacimientos de petróleo y gas natural, que le permitió al país ser un importante productor de la región hace unos años, sin embargo, implicó la generación de gran cantidad de pasivos ambientales, debido al abandono de fosas petroleras, que han sido investigadas y algunas están en proceso de remediación (ENAP, 2020)⁵⁷.

Como aspecto social y político, no se le ha otorgado hasta ahora la importancia que merece el suelo como recurso no solo productivo, si no que ecosistémico; y como una matriz ambiental que puede ser y ha sido objeto de contaminación con potenciales efectos a la salud de las personas. Durante los últimos años, se le ha ido dando la importancia que requiere, mediante la realización de estudios de calidad de suelos y el comienzo de la generación de gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes.

⁵⁵ https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/10/manual-de-tecnologias-de-remediacion-de-sitios-contaminados_baja-1.pdf

⁵⁶ <https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-rags-part-b>

⁵⁷ ENAP. (2020). *Saneamiento Ambiental de 22 Fosas en Continente - RCA N°12/2006*.

2.5 Comparación de aspectos normativos para gestión de sitios o suelos contaminados (Anexo 2)

País	Normativo nacional	Normativo estatal/regional	Entidad fiscalizadora	Gestión	Requerimiento para inicio de proceso de investigación
Alemania	<p>República federal compuesta por 16 estados llamados Länder. La normativa de evaluación de sitios es de carácter federal y comprende dos leyes principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz – BBodSchG) - Ley federal de protección al suelo. Esta trata los aspectos de definiciones, obligaciones y valores (discutidos anteriormente). • Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) - Ordenanza federal de protección del suelo y sitios contaminados. Esta trata los aspectos de metodología, derivación de valores y otros aspectos técnicos. 	No aplica	<p>Fachbeirat für Bodenuntersuchungen (FBU) o Concejo de Investigación del Suelo que es una entidad federal</p> <p>Dictamina la obligación de un responsable (y determina quién es este) de hacerse cargo del proceso de investigación y remediación de sitio</p>	<p>Existe un registro de sitios contaminados mantenido a nivel federal</p> <p>La responsabilidad puede recaer en el usuario, dueño, sucesión etc. Esto es determinado por el FBU.</p> <p>Los informes ambientales deben ser realizados por personas competentes</p>	<p>La investigación exploratoria es realizada en general por la autoridad como parte de catastros regulares si hay indicaciones de que se usaron sustancias tóxicas en cantidades sustanciales o por un periodo largo de tiempo en un sitio.</p> <p>La investigación detallada, evaluación de riesgos y remediación es de cargo de quien se determine responsable</p>
Australia (Estado de Queensland)	<p>Federación de seis estados con dos territorios continentales. El manejo de los sitios contaminados queda a cargo de los estados, sin embargo, el National Environment Protection Council” o NEPC (Consejo de Protección Nacional del Medio Ambiente) dicta metodologías y niveles de referencia para la salud.</p>	<p><i>Environmental Protection Act</i> 1994 de Queensland. Define daño ambiental que corresponde a “daño a valores ambientales” donde se encuentra el medio ambiente y la salud humana. Indica que se deben usar metodologías aprobadas por el NEPC para sitios contaminados</p>	<p>Departamento de Medio Ambiente y Ciencia (Department of Environment and Science o DES) entidad estatal (Queensland).</p> <p>Dictamina la obligación de iniciar un proceso de investigación y remediación</p>	<p>Existe un registro de actividades potencialmente contaminantes y de sitios contaminados (registro EMR y CLR).</p> <p>“Polluter’s pay principle” La responsabilidad es de quien originó la contaminación si se puede determinar o del dueño del sitio en otro caso.</p> <p>Los informes ambientales deben ser</p>	<p>Usualmente cuando un sitio donde se desarrolla una actividad potencialmente contaminante (EMR) se cambia a un uso más sensible (ej. de industrial a residencial) se debe realizar una investigación (y remediación) para permitir el nuevo uso.</p> <p>También por denuncias u otros.</p>

País	Normativo nacional	Normativo estatal/regional	Entidad fiscalizadora	Gestión	Requerimiento para inicio de proceso de investigación
Brasil (Estado de Sao Paulo)	Brasil posee 26 estados y un distrito federal. El manejo de los sitios contaminados queda a cargo de los estados, sin embargo, Resolución N° 420 de 2009 (Resolução N° 420 2009) del Ministerio de Medio Ambiente, Consejo Nacional de Medio Ambiente – Ley Federal que dispone pautas para la gestión de sitios contaminadas (y valores de referencia si bien estos deben ser confirmados por los estados)	Ley N°13.577 de 2009 (Lei N° 13.577) de la Asamblea Legislativa del Estado de Sao Paulo – Ley estatal (Sao Paulo) que es en gran parte equivalente a la resolución federal N° 420 Decisión del Consejo N° 195-2005-E, 2005 (Decisão de Directoria N° 195-2005-E) de la Empresa de Tecnología de Saneamiento Ambiental (Companhia de Tecnologia de Saneamiento Ambiental) o CETESB – Dispone valores del suelo y agua en el estado de Sao Paulo indicando valores background (referencia de calidad). Valores de Referencia para Suelo y Agua Subterránea 2014 (Valores Orientadores para Solo e Água Subterránea no Estado de São Paulo 2014) del CETESB.	Companhia de Tecnologia de Saneamiento Ambiental CETESB, la que es la agencia del gobierno estatal responsable del control, inspección, monitoreo y licenciamiento de actividades generadoras de contaminación. Dictamina la obligación de iniciar un proceso de investigación y remediación	realizados por personas competentes y aprobados por un auditor aprobado Existe un registro de sitios contaminados mantenido a nivel estatal. La responsabilidad recae sobre quien originó la contaminación. Existe un fondo estatal donde no se pueda identificar culpables.	La investigación preliminar la realiza la autoridad ambiental y está basada en la información histórica del sitio.
Canadá (British Columbia)	Canadá es una federación norteamericana integrada por diez provincias y tres territorios. Los requerimientos regulatorios los dicta cada provincia. Sin embargo la entidad federal Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), dicta recomendaciones para requerimientos técnicos para la investigación de sitios y estándares de referencia para la	Environmental Management Act, Contaminated Sites Regulation (EMA Contaminated Sites) de British Columbia	Ministry of Environment and Climate Change Strategy	Existe un registro manejado a nivel de provincia (British Columbia) que contiene datos de sitios contaminados o que estuvieron bajo un proceso de investigación o remediación	Cuando ha ocurrido un derrame o reclamo de una posible contaminación. En el caso de una aplicación por cambio de uso de suelo, demolición o reubicación de suelo. Cuando han ocurrido ciertas actividades industriales o comerciales en un sitio.

País	Normativo nacional	Normativo estatal/regional	Entidad fiscalizadora	Gestión	Requerimiento para inicio de proceso de investigación
	protección del riesgo a la salud y medio ambiente.			<p>“Polluter’s pays principle”. El responsable paga. Sin embargo, existe un fondo estatal para sitios sin responsables identificados.</p> <p>Los informes ambientales deben ser realizados por personas competentes</p>	<p>Cuando se recibe información sobre un proceso de remediación que está ocurriendo sin haber informado a la autoridad.</p> <p>Cuando ocurre un proceso de bancarrota de una propiedad.</p> <p>Cuando se recibe un requerimiento de algún servicio relacionado con un sitio contaminado.</p>
España (nivel estatal)	Real decreto 9/2005: establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados	No aplica	El real decreto deriva las competencias de la gestión administrativa a las comunidades autónomas dejando a criterio de las mismas el órgano de gobierno que deberá hacerse cargo	<p>Existe un listado de actividades potencialmente contaminados</p> <p>Las investigaciones deben ser realizadas por entidades aprobadas</p>	Si la actividad se encuentra en el listado de actividades potencialmente contaminantes la empresa deberá realizar un informe de situación obligatoriamente cada 2 años
España (País vasco)	Real decreto 9/2005	-DECRETO 165/2008: inventario de suelos contaminados - DECRETO 199/2006: acreditación de entidades de investigación -Ley 4/2015 Ley para la prevención y contaminación del suelo.	Esta Ley desplaza las responsabilidades a los municipios en primer orden. Sobre este se encuentra el área de Medio Ambiente y Política Territorial del País Vasco	<p>-Existe un listado con actividades potencialmente contaminantes</p> <p>-Plan de suelos</p> <p>-Ayuda económicas para incentivar el cumplimiento de las obligaciones</p> <p>Las investigaciones deben ser realizadas por entidades aprobadas</p>	<p>-Todos aquellas industrial incluidas en las actividades potencialmente contaminantes</p> <p>-cambio de propiedad de suelos con antiguas instalaciones potencialmente contaminantes</p> <p>-Cese de actividad potencialmente contaminante</p> <p>Cambios de uso del suelo que haya soportado o soporte actividades potencialmente contaminantes</p>
España (Andalucía)	Real decreto 9/2005	Decreto 18/2015, de 27 de enero, por el que se aprueba el reglamento que	-Consejería de Medio Ambiente y ordenación del territorio:	Inventario de suelos contaminados	Aquellos que realicen actividades potencialmente contaminantes en caso de:

País	Normativo nacional	Normativo estatal/regional	Entidad fiscalizadora	Gestión	Requerimiento para inicio de proceso de investigación
		regula el régimen aplicable a los suelos contaminados	coordinación de las delegaciones e inventario andaluz de suelos contaminados -Delegaciones territoriales: valoración de los informes -Municipios: Aprobación de los proyectos de descontaminación	Las investigaciones deben ser realizadas por entidades aprobadas	-Cambio de uso de suelos -Cese de actividad -Por encontrarse en inventario andaluz de suelos contaminados -Inspección en el emplazamiento -Denuncia de terceros -Otros
Estados Unidos (California)	Los requerimientos del proceso de sitios contaminados se encuentran en la <i>Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act (CERCLA) (42 U.S.C. 9601)</i> más conocida como la ley “Superfunds”. Existen además estándares de la American Society of Testing Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) o ASTM además de guías publicadas por la USEPA	<i>The California Land Environmental Restoration and Reuse Act (SB 32)</i>	CalEPA, específicamente el Department of Toxic Substances Control (DTSC) y también State Water Resources Control Board (State Board). Este último ve materias de aguas subterráneas contaminadas.	Registro de Superfunds o sitios contaminados (tanto estatal como federal). El dueño del sitio es responsable a no ser que se haya realizado los estudios de due diligence (“innocent landowner defense”) Existe un fondo federal y estatal (California) disponible para sitios sin responsable y para programas de remediación voluntarios de privados. Las entidades deben ser realizadas por personas competentes	En transacciones de privados no existe un requerimiento formal para realizar una investigación Fase I, sin embargo, es regularmente requerida como método de seguridad y poder aplicar el “innocent landowner defense” que permite librar a un comprador de un sitio contaminado de hacerse cargo de su remediación.
Italia	Testi Unici”di cui alla Legge 308 del 2004 (Legge Delega per il riordino della normativa in campo ambientale, Titolo V	<i>No aplica</i>	-Ministerio de medio ambiente y protección del territorio y el Mar -Istituto Superior de Protección e investigación ambiental (ISPRA), órgano de apoyo técnico	-Catastro de sitios con interés Nacional -Registro de sitios a recuperar	-La ley indica que funciona bajo el principio “quien contamina paga”, pero no indica cuales son los requisitos para ingresar al sistema

País	Normativo nacional	Normativo estatal/regional	Entidad fiscalizadora	Gestión	Requerimiento para inicio de proceso de investigación
México	- Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente	No aplica	-Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales - Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA)	- Programa nacional de remediación de sitios contaminados	
Países Bajos (Holanda)	-Decreto de calidad del suelo -Circular de remediación de suelos 2013	No aplica	- Ministerio de Infraestructura y Medio Ambiente - Rijkswaterstaat Environment (ejecutivo de políticas y regulaciones del ministerio nombrado anteriormente)	-Directriz de protección del suelo de loa Países Bajos para actividades industriales	
Chile	- Ley 19.300 de Bases generales del medio ambiente - D.S. 40/2012 Reglamento SEIA - Guía metodológica para la gestión de SPPC (Res. Ex. 406/2013 del MMA)	No aplica	- Superintendencia del Medio Ambiente - Ministerio de Salud	Estudios a escala regional y/o sitio-específicos de suelos con potencial presencia de contaminantes, llevados a cabo principalmente por el MMA.	- Por iniciativa del Ministerio del Medio Ambiente. - Como requisito para evaluación de impacto ambiental de proyectos ingresados al SEIA mediante tipología o.11. - Requerimiento por sumario sanitario. - Dictamen Tribunal Ambiental

2.6 Comparación de requerimientos técnicos y otros en normativas (Anexo 2)

País	Fase I	Fase II	Remediación	Muestreo	Niveles de referencia	Otros	Aspectos geológicos, sociales y económicos
Alemania	Investigación exploratoria: comprende compilación histórica y muestreo limitado de matrices. La FBU evalúa si el sitio debe pasar a siguiente fase	Investigación detallada: Realizada según estándares alemanes (DIN) y contiene muestreo de suelos, aguas y gases.	Investigación de remediación: Determinar medidas que sean “proporcionales” y costo efectivas evaluando alternativas. Plan de remediación: Establece medidas para la protección de usuarios. Se pueden establecer medidas de seguimiento (ej. monitoreo o mantenimiento)	No establece densidad de puntos pero indica que se debe delimitar contaminación vertical y horizontalmente. Incluye profundidades determinadas por uso de suelo (para rutas de impacto personas y plantas)	Incluye usos (salud): -Lugares de juegos de niños -Áreas residenciales -Parques y lugares de recreación -Sitios usados para usos industriales y comerciales Además impactos a: -Agricultura -Pastizales	Contempla el uso de tests de lixiviación para afectación de plantas (NH ₄ NO ₃) y de aguas subterráneas (H ₂ O) Contempla evaluación de riesgos	Depósitos de carbón y minería de lignito en Alemania central.
Australia (Estado de Queensland)	Preliminary site investigation (PSI): Investigación con muestreo limitado y evaluación histórica	Detailed site investigation (DSI): Contempla muestreo de matrices y comparación con normativa. Proceso de evaluación de riesgos sitio-específico es opcional (o requerido por la autoridad en algunos casos)	La remediación debe hacerse bajo un Remediation Action Plan (RAP) para eliminar los riesgos y permitir el uso de suelo que se desea dar (o eliminar riesgos potenciales a “valores ambientales”). El sitio puede quedar apto con contaminación remanente pero con medidas de control bajo un Site Management Plan (SMP). Para que se pruebe la remediación debe establecerse una validación de la	Establece un mínimo que está determinado por el radio asumido de un sector contaminado “hotspot” y el tamaño del sitio	Establece niveles de investigación para la salud (HILs/HSLs) que contemplan: residencial, residencial alta densidad, espacio público, comercial/industrial Además establece niveles para protección ecológica (EILs)	Admite el uso de tests de lixiviación para determinar proporción biodisponible para la salud y plantas dentro de una evaluación de riesgos Determina metodología para cálculo de background. Considera el límite aceptable para riesgo cancerígeno un nivel de 10 ⁻⁵ .	País minero con depósitos de hierro, y minería de plomo, zinc y carbón, y anteriormente de asbestos. Inclusión de diferentes vías de exposición, considerando el consumo habitual de productos caseros.

País	Fase I	Fase II	Remediación	Muestreo	Niveles de referencia	Otros	Aspectos geológicos, sociales y económicos
Brasil (Estado de Sao Paulo)	Investigación preliminar: investigación de escritorio y visita Investigación confirmatoria: muestreo limitado Ambos corresponden al Paso I "Identificación"	Investigación detallada: Realizada para conocer alcance de la contaminación y establecer riesgo a posibles receptores mediante evaluación de riesgo Corresponde al paso II "Diagnóstico"	remediación (validation report). Plan de remediación: Lleva los riesgos identificados anteriormente hasta niveles tolerables considerando el uso actual y futuro de la zona Corresponde al paso III "Intervención"	No indica densidad pero en caso de muestrear plaguicidas se debe realizar dentro de su periodo activo. En el caso de fertilizantes, este debe ser muestreado en periodo de cosecha.	Establece: -VRQ: Valor de referencia de calidad. Concentración que establece suelo o agua subterránea en estado natural -VP: Valor de prevención. Concentración sobre la cual pueden esperarse daños en suelos o aguas subterráneas -VI: Valor de intervención. Valor sobre el cual se pudiesen esperar efectos a la salud y se debe actuar para prevenir estos.	Establece niveles background por estado (VRQ) Se debe presentar junto al plan de remediación una garantía de al menos 125% de los costos estimados	Regiones mineralizadas, principalmente hierro. Se establecen provisiones especiales en las investigaciones, relacionadas al uso de plaguicidas y fertilizantes.
Canadá (British Columbia)	Investigación preliminar (Preliminary Investigation): Dividida en dos etapas, la primera una revisión histórica e inspección. La segunda incluye muestreo de matrices ambientales	Investigación detallada (Detailed Investigation): Debe identificar por medio de muestreo de contaminantes, áreas impactadas entre otros. Puede ser combinada con investigación preliminar.	Plan de remediación: debe contener delineación horizontal y vertical de la contaminación. Además, alternativas evaluadas y métodos para mantener la seguridad en el proceso. Confirmación de la remediación: Debe contener resultados que confirmen que la remediación fue exitosa e indicar lo que queda en el sitio	No se especifica un mínimo de puntos sin embargo se indica que deben de ser suficientes para satisfacer los requerimientos de la investigación	Estándares numéricos ("numerical standards"): Dentro de estos están: -Estándares numéricos de matriz ("Matrix numerical standard"), -Estándares numéricos genéricos ("Generic numerical standards Estándares numéricos sitio específicos -Estándar preliminar del Director ("Director's interim standard")	Gran cantidad de niveles de referencia para distintos escenarios, 8 usos de suelo (estándares numéricos) Incluye evaluación de riesgos como un estándar	Regiones muy mineralizadas y producción de hierro, zinc, oro y diamantes. Además de depósitos geológicos de petróleo.

País	Fase I	Fase II	Remediación	Muestreo	Niveles de referencia	Otros	Aspectos geológicos, sociales y económicos
					<p>Además están los Estándares basados en riesgo ("risk-based standards"): Definen niveles de riesgo aceptables. Validar un sitio con estos no significa legalmente que no esté contaminado (pero permite su uso).</p> <p>Para los estándares numéricos existen los siguientes usos:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Áreas abiertas naturales -Áreas abiertas modificadas -Agricultura -Parque urbano -Residencial de baja densidad -Residencial de alta densidad -Comercial -Industrial 		
España (nivel estatal)	<p>Informe de situación: Investigación de escritorio con recopilación histórica de actividades Comparación de valores con tablas de la norma</p>		<p>Valoración de Riesgos ambientales. Descripción detallada de los focos de contaminación y evaluación de riesgo sitio específica</p>	No indica densidad de puntos a muestrear	Existen niveles de referencia solo para No Metales (BTEXN, PCBs, pesticidas organoclorados, Hidrocarburos)		

País	Fase I	Fase II	Remediación	Muestreo	Niveles de referencia	Otros	Aspectos geológicos, sociales y económicos
España (País vasco)	Informes de situación Sustancias peligrosas manejadas, residuos, caracterización de la instalación	Investigación exploratoria Histórica, caracterización del suelo, campaña de muestreo, distribución de la contaminación.	Investigación Detallada Campaña de terreno, estudio del medio físico y humano, análisis de riesgo, estudio de alternativas, plan de recuperación	La ley no indica la densidad de muestreo, sin embargo existe una guía.	- VIE-A son valores background para metales -VIE-B son valores de decisión, que si se superan, hay que realizar la investigación detallada Los valores se encuentran definidos para los siguientes usos: Industrial, parque público, urbano, área de juego infantil y otros usos		
España (Andalucía)	Informe histórico de situación Referencia catastral, descripción de las actividades y almacenamientos, histórico del emplazamiento.	Informe de Caracterización Resultados de los trabajos de campo, Muestreo y datos analíticos de suelos,	Análisis de Riesgo. Descripción de los focos de contaminación, valores significativos del contaminante, propiedades del suelo, vías de transporte, dosis de exposición, toxicidad y cuantificación del riesgo Informe de descontaminación Desclasificación del suelo	No cuenta con una descripción detallada del muestreo a realizar	Únicamente establece valores de referencia para los metales, para lo cual se realizó un estudio de fondo geoquímico de la región y con esta establecieron el valor de referencia para el arsénico. El resto de sustancias toman su valor del real decreto		Región altamente mineralizada, con altos valores de arsénico en suelos naturales.
Estados Unidos (California)	Phase I ESA: Debe seguir el estándar ASTM que incluye inspección de sitio y revisión de información histórica. No incluye muestreo. Si se encuentra contaminación se determina una	Phase II ESA: debe hacerse según el estándar ASTM correspondiente y contiene muestreo en el sitio. No necesariamente delimita la	Previo a la remediación se deben realizar las investigaciones de remediación (Remedial Investigation) que deben delimitar la contaminación y el estudio de factibilidad (Feasibility Study) donde se evalúan detalladamente las	No se indica densidad o número mínimo de puntos para un muestreo pero debe satisfacer los requerimientos de calidad establecidos	En cuanto a los niveles de referencia, se han definido los RSL (Regional Screening Levels) para los escenarios residencial e industrial. Los valores están basados en escenarios genéricos usando la	Los procedimientos y conceptos de evaluación de riesgos fueron desarrollados por la USEPA, y son los utilizados en todo el mundo. Se indica que no se pueden establecer valores de remediación	Se reconoce mineralización por arsénico como un problema, con altas concentraciones en aguas subterráneas en estados del oeste.

País	Fase I	Fase II	Remediación	Muestreo	Niveles de referencia	Otros	Aspectos geológicos, sociales y económicos
	“Recognized Environmental Conditions” que indica seguir con el proceso.	contaminación en el sitio.	alternativas para la remediación.	para la investigación.	metodología HHRA (RAGS)	mayores a los background locales.	
Italia	No aplica	Indagación preliminar: en caso de que los valores superen el valor de referencia se realiza un plan de caracterización	Plan de caracterización y análisis de riesgo. Se calculan los valores de remediación basados en análisis de riesgo y en caso de que se superen se realizará un plan de remediación	No especifica metodología de muestreo	Los niveles de referencia son para uso residencial e industrial/comercial y existen valores para: Compuestos inorgánicos, aromáticos, alifáticos, plaguicidas, etc		Minería de silicatos y depósitos de mercurio.
México	No Aplica	Hidrocarburos Características del sitio, superficie contaminada, zona de muestreo y cantidad de muestras, procedimiento de lavado del equipo, antecedentes geológicos/hidro-geológicos	Metales Indica la necesidad de realizar un modelo conceptual de la contaminación y un muestreo que siga la norma de muestreo de suelos para la identificación y cuantificación de metales	Metales Norma de muestreo de suelos para la identificación y cuantificación de metales. Hace referencia principalmente a las herramientas y métodos de laboratorio Hidrocarburos Determina la cantidad de muestras han tomar según el área contaminada Especifica además el tipo de envase para cada tipo de muestra y temperatura de	<u>En el caso de los metales</u> , no establece valores de referencia, pero indica que puedes utilizar como valores de remediación, valores en bibliografía internacional (justificado), remediar hasta valores background, o realizar un estudio de biodisponibilidad. <u>En el caso de los hidrocarburos</u> , establece valores de referencia por fracción o para hidrocarburos específicos, para uso industrial/ comercial, uso agrícola y uso residencial/recreativo		Importante productor de plata.

País	Fase I	Fase II	Remediación	Muestreo	Niveles de referencia	Otros	Aspectos geológicos, sociales y económicos
				preservación junto con el tiempo de conservación.			
Países Bajos (Holanda)	Se determina si el Caso de contaminación grave: según el volumen de suelo contaminado	Los casos de contaminación urgente se determinan si los valores medidos superan los valores de referencia. En ese caso requiere remediación	Se realizará una evaluación de riesgos específica y un plan de remediación		Los niveles de referencia se encuentran según los valores de lutita y materia orgánica en el suelo. Existen valores de intervención y valores objetivos, para metales, otras sustancias inorgánicas, PAH, Hidrocarburos, PCBs y pesticidas	Considera el límite aceptable para riesgo cancerígeno un nivel de 10^{-4} . Para la definición de valores objetivos y de intervención, se da la misma importancia a los ecosistemas que a la salud humana.	Se reconoce la importancia y valor de sus suelos, siendo de los primeros países en desarrollar normativa para su protección.
Chile	“Fase I”: Identificación, priorización y jerarquización de SPPC, a escala regional.	“Fase II”: Investigación preliminar y confirmatoria sitio-específica	“Fase III”: Investigación delimitatoria, evaluación de riesgo a la salud humana y plan de acción. Existe Manual de tecnologías de remediación de sitios contaminados.	En la guía metodológica para la gestión de SPPC se indica número de muestras por tamaño del sitio, además existe Guía de muestreo y análisis químico.	No existen niveles de referencia en Chile. Para los estudios de contaminación de suelos, se utilizan niveles de referencias internacionales, además de background específico para el sitio en estudio.	No hay definición del límite de riesgo cancerígeno, quedando a criterio de la autoridad que solicita el estudio y otras como Ministerio de Salud. Generalmente se ha utilizado el valor de 10^{-6} .	Zona norte mineralizada con altos contenidos de metales, particularmente arsénico. Además, en la zona austral la exploración y producción de petróleo, que ha generado gran cantidad de pasivos ambientales.

3 Actividad 2.3 Mediante los criterios definidos y una metodología de embudo, seleccionar los países más cercanos a la realidad nacional y los contaminantes de interés que podrían normarse en el país

Se discutirán los desafíos para Chile con respecto a los aspectos (criterios) evaluados y cuales medidas se pueden desprender de otros países en pos de definir un modelo de gestión claro y robusto.

En cuanto a la aplicabilidad de los aspectos recogidos, estos dependerán en gran parte de factores ajenos a este proyecto (voluntad política, presupuestos, cambios de legislaciones, cambios de ordenamiento estatal, etc.). En este respecto, nos limitamos a definir aspectos óptimos que, a nuestro juicio, fuesen rescatables y aportarían en pos de un sistema de gestión de suelos contaminados claro y robusto.

No obstante, lo anterior, se piensa que luego de un proceso consultivo (fuera de los alcances de esta consultoría) se podrá afinar cuan aplicable podría ser cada aspecto a la realidad chilena.

3.1 Descripción de desafíos para Chile y aspectos valorables de países estudiados

3.1.1 Aspectos normativos

3.1.1.1 Normativa nacional

Como se puede observar anteriormente, no existe una única ley que refiera al tema de los suelos contaminados. Más bien, hay una serie de instrumentos que tocan tangencialmente el tema salvo quizás la Ley 19.300 que mandata el ingreso al SEIA de cualquier proyecto de remediación de más de 1 ha, la Ley de Polimetales de Arica (específica para esta área) y la Guía metodológica que no tiene fuerza de ley. La herramienta que es más transversal en esta materia es el D.S 148/2003 del MINSAL, la cual aparece de manera reiterada en todas las normativas y podríamos asegurar que es finalmente bajo lo cual termina resolviéndose.

Chile se beneficiaría con una legislación específica, clara y concisa que diese atención a la problemática de suelos contaminados, que proveyera de definiciones básicas, competencias, responsabilidades y requerimientos para la realización del proceso. En este sentido, todos los países revisados cumplen con estos requisitos, sin embargo, es destacable la normativa alemana Ley BBodSchG que entregan definiciones y dan un marco regulatorio, y la ordenanza federal BBodSchV que entrega aspectos básicos de metodología y valores de referencia. Otro ejemplo de una legislación robusta puede ser también el Real Decreto de España que establece los criterios para identificar las actividades industriales y económicas que deben atender a la calidad de los suelos donde se desarrollan, los niveles de decisión de distintos contaminantes, con los que la definición de suelo contaminado se concreta, establece los niveles de competencias administrativas, y fija la cadena de responsabilidades frente a una contaminación. Asimismo, establece la obligatoriedad de reflejar en el registro de propiedad del sitio todos los aspectos relacionados con la calidad del suelo, con lo que se hacen públicas las situaciones de potencial contaminación que pudieran suceder en el emplazamiento.

Tal como se señaló en el informe de IASA⁵⁸ del año 2011, “Por lo anterior, es propio de una norma de calidad la consideración de las fuentes, rutas y medios de exposición a la población, materia en la que, justamente, radica el problema en el caso del suelo, en el que los factores que inciden en las vías de exposición son de tan variada y diversa índole, que resultan imprevisibles para un procedimiento reglamentario como el señalado para la dictación de las normas de calidad, con lo que no podría cumplirse tal requisito de contenido del expediente de la norma”.

3.1.1.2 Entidad fiscalizadora

Como mencionado anteriormente, no existe un ente singular que regule las materias de suelos contaminados en Chile. Esto puede generar conflictos de competencias, ambivalencia de criterios o el duplicar tareas de evaluación y dirección. Nuevamente, en la mayoría de los países estudiados existe claridad en cuanto a la autoridad que provee de dirección, evalúa y fiscaliza la realización correcta de un proceso de investigación. Ya sea el DES en Queensland (Australia), el DTSC del CalEPA en California (Estados Unidos), u otros, existe claridad en las competencias en los organismos.

En la mayoría de los casos, esto corresponde al ministerio de medio ambiente u órganos con las competencias correspondientes. En caso de que exista agua contaminada, en algunos casos, la competencia es del ente regulador de las aguas en cada caso. Según la experiencia de España, esta doble figura es de difícil manejo y coordinación. Un caso donde se ha ordenado este tema es en Australia donde la autoridad ambiental tiene las competencias para tratar todos los temas de contaminación (llámese calidad) tanto de suelos como de aguas en un sitio, sin embargo, donde si las aguas desean ser usadas como un recurso (ej. caudal máximo a extraer, permisos etc) estos temas los ve la autoridad de aguas.

3.1.1.3 Gestión de sitios potencialmente contaminados

La Guía Metodológica contiene una lista de actividades potencialmente contaminantes que se utilizan para definir un SPPC, sin embargo, no existe todavía claridad en que implica que un sitio caiga en esta categoría. En este respecto, todos los países poseen un listado de sitios con potencial de estar contaminados o derechamente contaminados. El caso de Australia puede ser tomado de ejemplo, donde el registro EMR (similar al SPPC) indica que un sitio debe ser estudiado si se realizarán cambios y el registro CLR indica sitios contaminados que deben ser remediados por presentar riesgos a la salud.

3.1.1.4 Requerimiento para inicio de proceso de investigación

En Chile no existe claridad de cuándo debe iniciarse un proceso de evaluación de suelos contaminados, además de haber casos en los que se debiese gatillar este proceso, pero no ocurre por falta de regulación. En este sentido no existe ninguna herramienta legislativa que obligue a las empresas sospechosas a realizar el estudio.

El inicio de un proceso de investigación solo ocurre ya sea porque el MMA tenga interés en el tema, presentando dificultades para desarrollar análisis en terrenos privados, dado que los recursos públicos por regla general no pueden destinarse a ello. Otro caso resulta ser cuando los tribunales ordenan realizar procesos de investigación o remediación ambiental o bien las evaluaciones ambientales de los proyectos o

⁵⁸ Estudio “Preparación de antecedentes para la elaboración de la Norma de calidad primaria de suelos” realizado por Ingeniería Alemana S.A. para el Ministerio del Medio Ambiente el año 2011

actividades que ingresan al SEIA. Tanto el sistema de Australia (registro EMR / CLR) como el de España aparecen óptimos acá en cuanto a que según la actividad estos quedan listados en un registro de potencialmente contaminados. En el caso de Australia se requiere una investigación cuando pasan a un uso más sensible, en el caso de España son requeridas investigaciones periódicas. El caso de Estados Unidos es interesante por cuanto la responsabilidad siempre recae en el dueño de un sitio, por lo que las transacciones de propiedad regularmente incluyen una evaluación, la que es requerida por entidades financieras entre otras.

- Registro de actividades potencialmente contaminantes: En el caso de España, existe un listado de actividades potencialmente contaminantes. Aquellas industrias que se encuentren en la lista deberán realizar un reporte de calidad del suelo con cierta periodicidad al órgano competente.
- Se instauran casos en los que se debe realizar y entregar al órgano competente un estudio de suelo. Los casos más repetidos son:
 - Cuando se hace un cambio de uso de suelo en un sitio donde hay o hubo una actividad potencialmente contaminante (APC)
 - Cuando se implementa en un sitio un APC o se cambia algunos de los procesos APC
 - Cuando existe alguna sospecha de contaminación de suelos
 - En compra venta de terrenos
 - Cuando cesa una actividad APC
- Catastro de sitios contaminados: en otros casos (por ejemplo, Andalucía, que contiene la lista de actividades y catastro) el órgano competente mantiene y actualiza un catastro de sitios contaminados. El proceso de generación de catastro es largo y costoso, por lo que exige la utilización de importantes recursos por parte de la administración, tanto humanos como financieros. Asimismo, el proceso debe actualizarse con frecuencia

Adicional a lo anterior, en Chile tampoco existen requerimientos para quien puede realizar una investigación de suelos contaminados, sin perjuicio de la existencia de las ETFA, como si lo hay en España (Entidades de inspección de suelos acreditadas), en Australia (*Suitably Qualified Persons*) o Estados Unidos (personas acreditadas) donde el órgano competente se encarga de acreditar a empresas o personas (auditoras) encargadas de realizar los estudios de suelos. De esta manera el Estado descarga el peso grueso de la parte técnica en un órgano externo, que a su tiempo debe pagar aquel que esté realizando el estudio

Se toma en cuenta que en Chile existen las Entidades Técnicas de Fiscalización Ambiental (ETFAs), pero no se estima que pudiesen cumplir este rol dada la complejidad y grado de conocimientos técnicos que presenta el poder diseñar y realizar una investigación de suelos contaminados. En este sentido, sería más aconsejable determinar un sistema aparte formado por consultores con las calificaciones y experiencia necesarias. En otros países, se requiere de acreditaciones basadas en la norma ISO 17.020 complementada con requerimientos en cuanto a capacitación, experiencia y medios tanto a nivel de técnicos como a nivel de empresas.

3.1.1.5 Otros aspectos destacables de las normas revisadas

A continuación, se describen aspectos normativos que se consideran relevantes:

- Sitios contaminados vs suelos contaminados: Entre las normas revisadas existe un factor que resulta decisivo a la hora de plantear una normativa de contaminación de suelos, que es las matrices que se considerarán dentro de los estudios de contaminación. En el caso de España, el real decreto y las normas que derivan de estas, únicamente regulan la contaminación de suelos, pero no la contaminación de aguas asociadas. Esto genera dificultades

administrativas a la hora de ejecutar los proyectos con acuíferos implicados. En este sentido, existen otras normativas, como la de Australia o Estados Unidos, que están basados en el concepto de “sitios contaminados” y por tanto, abarcan todas las matrices afectadas por la contaminación. De esta manera la gestión del sitio es más sencilla y se trata con una única normativa más completa, donde un único órgano legislativo es el encargado de la fiscalización.

- Derivación de las responsabilidades a municipalidades y regiones: Otro de los aspectos destacables, en el caso de España, por ejemplo, el Real Decreto marca unas pautas base para los estudios de suelos contaminados, y no incluye en ella valores de referencia para los metales. De esta manera, derivan las responsabilidades de la definición de los valores de referencia de los metales y fiscalización a las regiones. Esto se justifica con el criterio de asignar valores de metales específicos de cada región atendiendo a su fondo geoquímico.
- En España, la condición de suelo contaminado, que es una definición administrativa, se refleja en el registro catastral del sitio, con lo que se hace pública. Esta indicación puede modificarse por la autoridad en caso de que se realizase una descontaminación con su respectivo estudio de confirmación de la descontaminación. No se borra la anterior indicación, pero se añade una nueva atendiendo a que el sitio se ha descontaminado. Se trata de una manera de asegurarse que las condiciones del terreno serán traspasadas en caso de que el sitio cambie de dueño, y que los potenciales compradores conozcan la situación del sitio en cuanto a su condición administrativa de suelo contaminado.
- Mención aparte merece también el sistema de la Ley Superfund en Estados Unidos, mediante el cual a través de un impuesto se mantienen fondos federales (y estatales) los que pueden ser accedidos incluso por privados al entrar en una remediación voluntaria especialmente cuando se planea desarrollar un sitio para un bien común. Cabe notar sí que este sistema ha recibido ciertas críticas por la forma en la que la autoridad prioriza donde se gastan estos dineros, generando a veces dudas si las decisiones eran las correctas, o si no se generan sobrecostos no justificados.

3.1.2 Requerimientos técnicos

Los requerimientos técnicos se encuentran indicados en la “Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes⁵⁹” del Ministerio del Medio Ambiente. Por otro lado, para la realización de la evaluación de riesgos existe una guía de “Riesgos para la Salud de la Población”⁶⁰ realizada por SEA con la colaboración del Ministerio de Salud y Ministerio del Medio Ambiente.

3.1.2.1 Fase I

El resultado de una Fase I en Chile no genera una obligación de continuar con la investigación en caso de sospecha y la información que se especifica en la ficha resulta algo deficiente a la hora de plasmar toda la información necesaria en caso de tener que avanzar a una Fase II. En este sentido, la Fase I funciona más como un instrumento de gestión público y de priorización para la autoridad, que como un instrumento técnico que derive en la realización de actividades posteriores.

Como ya se destacó anteriormente, la Fase I de la guía metodológica tiene un enfoque distinto a las Fases I revisadas en otros documentos, y aunque todas tiene sus pequeñas o no tan pequeñas diferencias, todas

⁵⁹ <http://www.cenma.cl/Pagina%20web-LQA/4-Gesti%C3%B3n%20de%20SPPC/Guia%20Metodologica%20gestion%20SPPC.pdf>

⁶⁰ https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/migration_files/20121109_GUIA_RIESGO_A_LA_SALUD.pdf

tienen un objetivo principal: poder detectar la posible presencia de contaminantes en el suelo y el posible efecto que esta contaminación pueda tener. Para ello algunas normas recomiendan un muestreo puntual, otras se basan en bibliografía, o en una visita.

Desde un criterio experto, la metodología más completa para Fase I es la formulada por ASTM. Además, esta metodología tiene como objetivo la definición de RECs (o *Recognized environmental conditions*). Los RECs definen zonas de los sitios con posible contaminación y los contaminantes de interés en cada una de las zonas, dejando perfectamente definido donde se han de concentrar los esfuerzos en la Fase II. Si no se reconocen RECs será porque no se ha identificado el posible riesgo.

3.1.2.2 Fase II

La Fase II en Chile suele tener como objetivo la confirmación de la contaminación. Es en esta fase donde se compara con valores de referencia de normativa internacional. El estudio detallado de estos valores se realizará más adelante en el informe.

El número de muestras prescrito en la guía metodológica para una investigación confirmatoria ($a+5$, donde “ a ” es el área en hectáreas) no tiene una base estadística explicada en la Guía Metodológica ni tampoco en la fuente original (normativa del País Vasco). Vale decir, la fórmula no incorpora aspectos tales como la probabilidad estadística de encontrar una “mancha de contaminación” (o *hotspot*) de determinado tamaño dado un número de muestras específico, distancia mínima entre muestras, entre otros. En este sentido, sería mejor usar el sistema de Australia que sí tiene una base científica, o dejarlo a evaluación de la autoridad o persona competente aprobada (ej. auditor en Australia).

3.1.2.3 Fase III

A la hora de aplicar la metodología de evaluación de riesgos, la dificultad en Chile se encuentra en la variabilidad de órganos que pueden revisar la documentación (Ministerio de Salud, Ministerio del Medio Ambiente, SMA, SEA, Tribunales de Justicia), ya que no existe un criterio unificado sobre la metodología entre los ministerios.

En cuanto a la remediación, la Guía en Chile es limitada y se refiere principalmente a una revisión de literatura en cuanto a técnicas. No existe requerimiento específico de probar que un sitio fue descontaminado o de validación de alternativas como usar un sitio dejando contaminación remanente bajo un plan de manejo (como en Australia, en que los sitios en este caso pueden quedar con un *Site Management Plan*).

En la Fase III se encuentran en la mayoría de las normas, la evaluación de riesgos sitio específica, la determinación de los valores de remediación, las alternativas de remediación y la verificación de la remediación.

En este sentido, es importante destacar cómo se seleccionan los valores de remediación, ya que en muchas ocasiones y en relación a los metales, los valores de remediación calculados en base a riesgo pueden ser menores a los valores background. Todas las normas estudiadas consideran válidos los valores calculados a partir de riesgo a la salud, y dan distintas alternativas para tratar el background. El uso de los valores background a la hora de definir valores (tanto de remediación como de valores de referencia) será discutido más adelante.

Las normas revisadas cuentan además con un método para la evaluación de la descontaminación, que sería importante implementar en la legislación chilena.

3.1.3 Contaminantes a normar, niveles de referencia y uso de biodisponibilidad

En Chile no existen niveles de referencia del suelo y se designa una lista de países en el RSEIA desde donde se pueden obtener estos para realizar una evaluación de suelos contaminados, sin embargo, no se indican cuáles se debiesen usar, ni tampoco que contaminantes evaluar dependiente de la industria o actividad, sumado al hecho de que el RSEIA regula solo actividades o proyectos sometidos al SEIA. Esto puede generar un mal uso de los niveles listados, incluso acomodándose a lo que necesite quien está evaluando el sitio. En el RSEIA no se explicita el uso del sistema de evaluación de riesgos de la EPA, lo que sería apropiado en ausencia de niveles de referencia.

En cuanto a los contaminantes a normar, se debiesen incluir aquellos que son comunes a las otras normativas revisadas que incluyen los siguientes grupos:

- metales pesados y metaloides (ej. As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Ni, Zn)
- hidrocarburos aromáticos (por ejemplo, benceno, etilbenceno, tolueno, xilenos)
- aromáticos policíclicos hidrocarburos (por ejemplo, naftaleno, antraceno, benzo (a) antraceno, benzo (ghi) perileno, benzo (a) pireno)
- hidrocarburos alifáticos clorados (diclorometano, tricloroetileno, tetraclorometano), hidrocarburos aromáticos clorados (clorobenceno, hexaclorobenceno)
- PCBs

En cuanto a los niveles de referencia, se considera que el sistema desarrollado por la USEPA es el más robusto y que tiene mayor flexibilidad a la hora de aplicar diferentes factores de exposición. Se pueden incorporar aspectos de otras normativas como del sistema australiano que incorpora características del suelo, distancia a las aguas subterráneas entre otros, lo que varían los niveles de referencia a usar. El sistema de la USEPA ya se ha utilizado para realizar evaluaciones de riesgo en Chile por lo que existe cierta familiaridad, además de ser contemplado en la Guía Metodológica para la gestión de SPPCs. Los niveles de referencia dentro de la legislación de los Países Bajos también consideran características del suelo, si bien estos están basados en una metodología un tanto diferente y no consideran usos de suelo.

Resulta también relevante el uso de tests de lixiviación para determinar fracción biodisponible de metales en suelos. El uso de estos tests es permitido en una evaluación en Australia, o derechamente se indica a utilizar en la legislación alemana. También se deben considerar el uso de background, al menos como valor de indicación preliminar de alguna afectación al suelo, o como potencial nivel de referencia para efectos ecológicos. Sería útil además incorporar otros aspectos técnicos, como la prescripción de profundidades a muestrear de la legislación alemana dependiendo del receptor a evaluar.

4 Conclusiones

La contaminación del suelo es un problema ambiental cuya atención por la sociedad y las administraciones es relativamente nueva, más que otros vectores ambientales como pueden ser la contaminación atmosférica o la contaminación del agua. Esta es la razón por la que la normativa y legislación que atienden a este problema son relativamente recientes y tienen un nivel de desarrollo muy diferente en cada país. Este nivel de desarrollo viene determinado por la estructura social y económica de cada país, está más desarrollada en aquellos países con un pasado industrial importante, y a su vez, en cada país se adapta a su marco legislativo y de organización del territorio, incluso a su contexto geológico.

En este sentido, el objetivo de este estudio ha sido analizar distintas normativas y legislaciones ambientales sobre contaminación de suelos en diferentes países y determinar aquellos aspectos que pueden ser extrapolados al caso chileno. Se hizo una primera selección de países, atendiendo a su desarrollo legislativo, estructura social, económica y contexto geológico, que más se pudieran adaptar a la realidad chilena. Se realizó, por tanto, el análisis en detalle de la normativa de suelos contaminados de Alemania, Australia, Brasil, Canadá, España (País Vasco y Andalucía), México, Estados Unidos, Países Bajos e Italia.

En muchos casos revisados, el primer paso para desarrollar una normativa fue la realización de catálogos o inventarios de sitios contaminados, con el objetivo de conocer la realidad del alcance y las consecuencias que en cada país tenía este problema. Este proceso se ha ido desarrollando en Chile a través de investigaciones de sitios históricos y categorización de estos según potencial riesgo a la salud.

El siguiente aspecto fue crear una serie de normas o guías técnicas, que incorporan criterios técnicos y requerimientos necesarios a la hora de afrontar un problema de contaminación de suelos. En el caso chileno también se han desarrollado estas guías, siendo la principal la *Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes* del Ministerio de Medio Ambiente. Estas guías deben estar en continua revisión, según se van teniendo mejores conocimientos sobre los compuestos contaminantes, sus efectos, y sus técnicas de investigación. Los estudios de contaminación de suelos son costosos, por lo que se plantean siempre en un esquema de fases de menor a mayor desarrollo, en función de las evidencias encontradas en cada paso.

Una vez que cada país ha adquirido un conocimiento suficiente sobre su situación en cuanto a la contaminación de sus suelos, y el procedimiento técnico de abordarlos, surge la necesidad de desarrollar una legislación que regule esta situación, con el objetivo tanto de prevenir la contaminación del suelo, como la de regular los procesos de declaración de un suelo como contaminado, y sus implicaciones legales y funcionales. En los países analizados, esta normativa contempla unos aspectos comunes, si bien su definición y desarrollo ya dependen de la situación particular de cada uno, de su adaptación a la realidad de cada país. Como se ha desarrollado en este informe, la normativa incorpora aspectos de gestión y aspectos técnicos.

Los aspectos de gestión determinan quién ostenta las competencias en materia de gestión de la contaminación de suelos. Esta competencia es en algunos casos estatal, y en otros países más descentralizados, regional o local, incluso con normas diferentes en las distintas regiones del país. El siguiente aspecto que se ha analizado es el proceso de gestión/declaración de un suelo como contaminado, y las consecuencias que derivan de esta condición, en cuanto a obligaciones de reportar información, realizar estudios, incluso remediaciones de suelo, y limitaciones del uso del suelo. En muchos casos, la clasificación de un suelo como contaminado es información pública, con objeto de advertir y proteger a terceros de su riesgo.

En la mayoría de los países, la determinación de un suelo como contaminado se centra en el riesgo para la salud humana y está menos desarrollado el concepto de riesgo para los ecosistemas.

Se han analizado también los requerimientos técnicos legislados en cada país. La definición de un suelo como contaminado gira entorno a unos criterios concretos, que se denominan según los casos como valores de referencia, niveles genéricos, niveles base, etc., que son las concentraciones de determinados contaminantes que sirven para determinar las acciones administrativas y técnicas a tomar en relación a un suelo. Este aspecto revela la mayor variabilidad entre los países analizados. Tanto los compuestos contaminantes seleccionados en cada caso, como las concentraciones de referencia, dependen de las capacidades técnicas de cada país, además decisiones que pasan por aspectos científicos y políticos. En todo caso, la legislación debe permitir un proceso de actualización, dado el continuo avance técnico tanto en la industria, con la introducción de nuevos compuestos, como de la toxicología, con mayores conocimientos sobre los aspectos adversos de compuestos ya presentes en el medio. En algunos países se contempla la evaluación de riesgos como un criterio de decisión final para determinar un suelo como contaminado, incluso se regula sobre los criterios a considerar en su realización.

Los grupos de sustancias para las que se generan con mayor frecuencia los valores de referencia del suelo incluyen metales pesados y metaloides (por ejemplo, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Ni, Zn), hidrocarburos aromáticos (por ejemplo, benceno, etilbenceno, tolueno, xilenos), aromáticos policíclicos hidrocarburos (por ejemplo, naftaleno, antraceno, benzo (a) antraceno, benzo (ghi) perileno, benzo (a) pireno), hidrocarburos alifáticos clorados (diclorometano, tricloroetileno, tetraclorometano), hidrocarburos aromáticos clorados (clorobenceno, hexaclorobenceno) y PCBs, entre otros.

A partir del análisis de las diferentes legislaciones internacionales, se realizó una revisión de la normativa existente en Chile y se definieron una serie de desafíos para esta, enumerando los aspectos destacables de las normativas internacionales revisadas. A modo de resumen se indican los más relevantes:

Desafíos normativos

- La necesidad de modificar la normativa existente, para que la matriz de suelo pueda ser legislada correctamente.
- La necesidad de definir una entidad fiscalizadora única.
- La necesidad de definir una metodología rigurosa para el desarrollo de los proyectos.
- La necesidad de definir las circunstancias que obligan a realizar una investigación de suelos contaminados.
- Otros aspectos destacables de las normativas revisadas:
 - Muchas de las leyes revisadas tienen normativas para los “sitios contaminados” en los cuales se engloban tanto los suelos como agua contaminada que pueda derivar de este.
 - Algunas de las normas revisadas (como la de España) deriva algunas responsabilidades a municipalidades y regiones, ya que estas tienen mayor conocimiento del entorno.

Requerimientos técnicos

- Fase I: La Fase I definida en la guía metodológica no indica cuándo se ha de continuar con la investigación. Además, el objetivo principal de esta es la jerarquización de los sitios, pero no la definición de contaminantes de interés y zonas de posible contaminación que indiquen la continuidad de la investigación.

- Fase II: Es donde se utilizan los valores de referencia de los cuales carece la normativa chilena. Por otro lado, es necesario definir la cantidad de muestras que se han de tomar durante la investigación.
- Fase III: Existe variabilidad de órganos que pueden revisar la documentación (Ministerio de Salud, Ministerio del Medio Ambiente, SMA, SEA, Tribunales de Justicia) y no existe un criterio unificado sobre la metodología entre los ministerios. Por otro lado, no existe una metodología clara de cómo definir los valores de remediación ni una metodología para la verificación de la remediación realizada. Estos factores se deben resolver para poder optimizar el proceso.

5 Actividad 2.4 Reunión de avance

Como última actividad de este objetivo, se desarrolló una reunión para discutir temas metodológicos y presentar avances a la contraparte técnica. Esta fue realizada el día 12 de noviembre de manera virtual.



SUBSECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE

Análisis de metodologías internacionales y determinación de contaminantes a normar en suelo

608897-70-LE20

INFORME FINAL

CAPÍTULO 3: ANALIZAR COBERTURA NORMATIVA DE CONTAMINANTES
DE INTERÉS Y POTENCIALES EFECTOS A LA SALUD HUMANA

Rev. 2

Abril 2021



Información del documento

Estudio	Análisis de metodologías internacionales y determinación de contaminantes a normar en suelo		
Mandante	Subsecretaría del Medio Ambiente		
ID licitación	608897-70-LE20	Código proyecto	P2003
Informe	Informe Final Capítulo 3	Versión	Rev2

Control de cambios

	Revisión 0	Revisión 1	Revisión 2
Elaborado por	Jorge Alcaíno Francisca Mihovilovic Ainhoa Goyeneche Paul Lorca Pilar Pantaleón Guillermo García Alfonso Álvarez Fernanda Carrasco	Jorge Alcaíno Francisca Mihovilovic Ainhoa Goyeneche Paul Lorca Pilar Pantaleón Guillermo García Alfonso Álvarez Fernanda Carrasco	Jorge Alcaíno Francisca Mihovilovic Ainhoa Goyeneche Paul Lorca Pilar Pantaleón Guillermo García Alfonso Álvarez Fernanda Carrasco
Fecha	15-03-2021	09-04-2021	26-04-2021
Revisado por	Alfonso Álvarez	Alfonso Álvarez	Alfonso Álvarez
Fecha	15-03-2021	12-04-2021	26-04-2021
Aprobado por	Jorge Alcaíno	Jorge Alcaíno	Jorge Alcaíno
Fecha	15-03-2021	13-04-2021	27-04-2021

EnSoil Ambiental SpA

Av. Apoquindo 6410 Of 605
Las Condes, Santiago
+56 9 8250 6380
www.ensoil.cl

Contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	7
2	ACTIVIDAD 3.1 REVISIÓN Y ANÁLISIS DE EVENTOS DE CONTAMINACIÓN ASOCIADOS A LA MATRIZ SUELO CON DAÑO A LA SALUD HUMANA OCURRIDOS A NIVEL NACIONAL, IDENTIFICANDO CONTAMINANTES DE INTERÉS	7
2.1	ESTUDIOS DEL MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE	7
2.1.1	Contaminación de suelos en las comunas de Quintero y Puchuncaví, Región de Valparaíso	7
2.1.2	Contaminación de suelos producto de la descarga aluvial durante la tormenta del desierto de Atacama en marzo del año 2015	8
2.1.3	Emergencia sanitaria ambiental en ex faenas Sector F (Sitio F y Promel).....	9
2.1.4	Contaminación por plomo proveniente de fábrica de pilas y baterías en Freire	11
2.1.5	Contaminación de Playa Las Petroleras por eventos de filtración de hidrocarburos y derrame de crudo.....	11
2.2	JURISPRUDENCIA RELEVANTE ADMINISTRATIVA Y JUDICIAL RESPECTO DE LA CONTAMINACIÓN DE SUELOS	13
2.2.1	Tranque de Relaves Las Palmas, Minera Tambillos: Segundo Tribunal Ambiental, rol D-14-2014	13
2.2.2	Minera Montecarmelo: Segundo Tribunal Ambiental, rol D-32-2016	15
2.2.3	Planta Fundición Alcones: Procedimiento Sancionatorio Superintendencia del Medio Ambiente D-039-2019	20
3	ACTIVIDAD 3.2 IDENTIFICACIÓN DE NORMATIVA NACIONAL EXISTENTE PARA LOS CONTAMINANTES DE INTERÉS SELECCIONADOS U OTROS DE RELEVANCIA IDENTIFICADOS Y RELEVADOS POR LA CONTRAPARTE TÉCNICA, INDISTINTAMENTE DE LA MATRIZ AMBIENTAL NORMADA, A FIN DE ANALIZAR COBERTURA NORMATIVA DE LOS CONTAMINANTES.....	22
3.1	NORMAS DE CALIDAD	23
3.1.1	Normas primarias	23
3.1.2	Normas secundarias	27
3.2	NORMAS DE EMISIÓN	37
3.3	NORMAS CHILENAS OFICIALES	41
3.3.1	NCh 1333: Requisitos de calidad del agua para diferentes usos.....	41
3.3.2	NCh 409/1: Norma calidad del agua potable	44
3.4	OTRAS NORMATIVAS ATINGENTES	46
3.4.1	Decreto 148/2003: Reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos	46
3.4.2	Decreto 4/2009: Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas.....	48
3.4.3	Resolución Exenta 297/2015: Aprueba el nivel de riesgo aceptable de protección humana, para los contaminantes de interés en la comuna de Arica por la presencia de polimetales en la matriz suelo	49
3.5	ANÁLISIS	49
4	ACTIVIDAD 3.3 ANALIZAR Y DETALLAR EFECTOS A LA SALUD DE LOS CONTAMINANTES DE INTERÉS ESTUDIADOS, PONIENDO ÉNFASIS EN LA COBERTURA NORMATIVA EXISTENTE Y A LOS POTENCIALES EFECTOS A LA SALUD HUMANA EN RUTAS DE EXPOSICIÓN POR MATRICES AMBIENTALES.....	52

4.1	CONTAMINANTES A NORMAR.....	52
4.1.1	Relevancia dada por organismos internacionales y en convenios ambientales suscritos por Chile	53
4.1.2	Relevancia de los contaminantes en Chile	57
4.1.3	Metodología de selección de contaminantes	58
4.1.4	Contaminantes (de interés) emergentes	69
4.1.5	Resumen de contaminantes a normar seleccionados	71
4.2	METALES.....	72
4.2.1	Antimonio	72
4.2.2	Arsénico	74
4.2.3	Berilio.....	76
4.2.4	Cadmio.....	78
4.2.5	Cobre	79
4.2.6	Plomo.....	81
4.2.7	Níquel	83
4.2.8	Selenio	85
4.2.9	Zinc	86
4.2.10	Cromo (VI).....	88
4.2.11	Mercurio	90
4.2.12	Talio	93
4.3	BTEXN (BENCENO, TOLUENO, ETILBENCENO, XILENO, NAFTALENO)	95
4.3.1	Benceno	95
4.3.2	Etilbenceno	96
4.3.3	Tolueno	98
4.3.4	Xileno	99
4.3.5	Naftaleno	101
4.4	PESTICIDAS CLORADOS	102
4.4.1	Clordano	102
4.4.2	DDT, DDE, DDD	103
4.4.3	Dieldrin	105
4.4.4	Pentaclorofenol	106
4.4.5	Endrina.....	107
4.4.6	Epóxido de heptacloro.....	108
4.4.7	Hexaclorobenceno.....	110
4.4.8	Lindano	111
4.5	ORGANOCORADOS	112
4.5.1	Tetracloruro de carbono	112
4.5.2	1,2-Dicloroetano	114
4.5.3	Cloroformo	115
4.5.4	Cloruro de metileno.....	116
4.5.5	Tetracloroetileno	118
4.5.6	Tricloroetileno	119
4.5.7	Cloruro de vinilo.....	120
4.6	PAH (HIDROCARBUROS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS)	122
4.6.1	Benzo (a) antraceno.....	122
4.6.2	Benzo (a) pireno.....	123
4.6.3	Benzo (b) fluoranteno.....	124

4.6.4	Benzo (k) fluoranteno	125
4.6.5	Dibenzo (a,h) antraceno	125
4.6.6	Indeno (1,2,3cd) pireno	126
4.6.7	Criseno.....	127
4.7	FENOLES	128
4.7.1	Fenoles.....	128
5	CONCLUSIONES	130
6	ACTIVIDAD 3.4 REUNIÓN DE PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	130

Anexos

Anexo 1 - Listado de normas nacionales revisadas

Anexo 2 - Contaminantes relevantes para la matriz suelo presentes en distintas normas chilenas (Excel)

Anexo 3 - Resumen de los contaminantes normados y presencia en legislaciones y convenios (Excel)

Anexo 4 - Disponibilidad de los contaminantes seleccionados en los laboratorios chilenos (Excel)

Anexo 5 - Presentación de reunión de informe de avance (PDF)

Tablas

Tabla 1 - Valores máximos permisibles y nivel de emergencia diario para aguas marinas y estuarinas aptas para actividades de recreación con contacto directo	23
Tabla 2 - Valores máximos permisibles y nivel de emergencia diario para aguas continentales superficiales aptas para actividades de recreación con contacto directo	24
Tabla 3 - Niveles de dióxido de nitrógeno en el aire según tipo de monitoreo	25
Tabla 4 - Niveles de emergencia ambiental, como concentración de NO ₂ en 1 hora	25
Tabla 5 - Niveles de dióxido de azufre en el aire según tipo de monitoreo	26
Tabla 6 - Niveles de emergencia ambiental, como concentración de SO ₂ en 1 hora.....	26
Tabla 7 - Nivel de Plomo en el aire para monitoreo anual	27
Tabla 8 - Valores máximos permisibles para aguas continentales superficiales de la cuenca del río Valdivia para cada área de vigilancia.....	29
Tabla 9 - Valores máximos permisibles para aguas continentales superficiales de la cuenca del río Biobío para cada área de vigilancia.....	31
Tabla 10 - Valores máximos permisibles para aguas continentales superficiales de la cuenca del río Maipo para cada área de vigilancia.....	33
Tabla 11 - Valores máximos permisibles para aguas continentales superficiales de la cuenca del río Serrano para cada área de vigilancia.....	35
Tabla 12 - Concentraciones máximas de anhídrido sulfuroso según tipo de monitorio	36
Tabla 13 - Concentraciones máximas de material particulado sedimentable y hierro presente en el mismo	36
Tabla 14 - Límites máximos de contaminantes según tipo de cuerpo de agua.....	38
Tabla 15 - Límite de contaminantes inorgánicos en residuos líquidos para descarga en aguas subterráneas	39
Tabla 16 - Límite de contaminantes orgánicos en residuos líquidos para descarga en aguas subterráneas	39

Tabla 17 - Indicadores físicos y químicos en residuos líquidos para descarga en aguas subterráneas	40
Tabla 18 - Límite de metales en residuos líquidos para descarga en aguas subterráneas	40
Tabla 19 - Concentración máxima permitida de contaminantes en efluentes a descargar en el estero Caren	41
Tabla 20 - Valores máximos permisibles para agua destinada a riego	42
Tabla 21 - Valores máximos permisibles para agua destinada a vida acuática	43
Tabla 22 - Contenido máximo de elementos esenciales	44
Tabla 23 - Contenido máximo de elementos o sustancias no esenciales	44
Tabla 24 - Contenido máximo de sustancias orgánicas	45
Tabla 25 - Contenido máximo de plaguicidas	45
Tabla 26 - Contenido máximo de productos secundarios de la desinfección	45
Tabla 27 - Límites máximos para elementos radiactivos	45
Tabla 28 - Niveles máximos permitidos en lixiviados de residuos sólidos peligrosos	46
Tabla 29 - Concentraciones máximas de metales en suelo receptor	48
Tabla 30 - Concentraciones máximas de metales en lodos para aplicación al suelo	48
Tabla 31 - Concentración máxima permisible de arsénico en la matriz suelo de Arica	49
Tabla 32 - Contaminantes relevantes para la matriz suelo presentes en distintas normas chilenas	50
Tabla 33 - <i>Priority Pollutant List</i> de la USEPA	53
Tabla 34 - Objetivos de convenios internacionales más importantes insumo para consultoría	55
Tabla 35 - Contaminantes de interés abordados por los estudios	58
Tabla 36 - Metales y metaloides seleccionados	61
Tabla 37 - Separación de los TPH en Estados Unidos	62
Tabla 38 - Fracciones de TPH seleccionadas	64
Tabla 39 - BTEXN en las normativas	64
Tabla 40 - PAH seleccionados	65
Tabla 41 - Compuestos organoclorados seleccionados	67
Tabla 42 - Pesticidas organoclorados seleccionados	68
Tabla 43 - Otros contaminantes seleccionados	69
Tabla 44 - Contaminantes seleccionados unificados	71

Figuras

Figura 1 - Sectores expuestos a escurrimientos Minera Montecarmelo	17
Figura 2 - Comparación de metales en Montecarmelo con normativa internacional	19
Figura 3 - Metodología de elección de contaminantes (Fuente: elaboración propia)	60
Figura 4 - Frecuencia de los contaminantes más comunes (USEPA, 2004)	66
Figura 5 - Degradación de alquenos clorados a etano	67

1 Introducción

Esta actividad tiene como objetivo el analizar los distintos contaminantes de interés y su cobertura normativa. Para ello primeramente se analizaron estudios realizados en Chile y los fallos de los tribunales ambientales, además de la normativa existente en Chile en matrices ambientales como suelo, agua y aire. Finalmente, se definieron los contaminantes de interés a normar y sus efectos en la salud humana.

2 Actividad 3.1 Revisión y análisis de eventos de contaminación asociados a la matriz suelo con daño a la salud humana ocurridos a nivel nacional, identificando contaminantes de interés

Respecto al análisis de los eventos de contaminación asociados a la matriz de suelo con daño a la salud humana ocurridos en el país, estos se han determinado principalmente en base a estudios de suelos con potencial presencia de contaminantes por eventos notables de contaminación. Se obtiene para cada uno, un resumen de la situación en particular y los contaminantes de interés que se podrían asociar a un posible daño a la salud humana de los receptores.

2.1 Estudios del Ministerio del Medio Ambiente

2.1.1 Contaminación de suelos en las comunas de Quintero y Puchuncaví, Región de Valparaíso

Antecedentes de evento de contaminación: En las comunas de Quintero y Puchuncaví, en la región de Valparaíso, se encuentra el Centro Industrial de Ventana (CIV) el cual reúne a 14 empresas destinadas a la generación de energía, fundición y refinación de cobre, plantas químicas, terminales marítimos, entre otros. En el año 1994 se declaró la zona como saturada por material particulado respirable (MP10) y dióxido de azufre (SO₂). En este respecto, no existe un “evento” de contaminación propiamente tal, sino que un uso continuo del suelo para fines industriales los que terminaron por afectar el suelo área.

Estudio o estudios realizados relacionados:

Muestreo de Suelos para las comunas de Quintero y Puchuncaví, región de Valparaíso (2015)¹:

El estudio realizado busca generar información complementaria a la existente, la cual mencionan en el Anexo IX del informe, con el objetivo de realizar una futura evaluación de riesgo ambiental en el área en estudio. Esto se logra determinando valores background para el sector y evaluando la concentración de los contaminantes de interés de acuerdo a la actividad productiva del sector. Se realiza un plan de muestreo al suelo rural y urbano, en colegios, series agrológicas y en formaciones geológicas, donde en cada punto de muestreo se determinó pH, contenido de materia orgánica y metales.

Los resultados del estudio muestran que las concentraciones de Hg, As, Pb, Cd, Cu y Fe presentan valores muy elevados superando entre un 66 y 99% de los puntos muestreados el valor background. Sin embargo,

¹ Estudio “Muestreo de suelos para las comunas de Quintero y Puchuncaví, región de Valparaíso” realizado por PGS Chile para el Ministerio del Medio Ambiente el año 2015

todos los metales (Cu, As, Zn, V, Cd, Mn, Hg, Pb, Fe, Mo, Se y Sb), excepto el Níquel, presentan valores superiores a las concentraciones naturales del suelo.

Se realiza un Análisis de Componentes Principales con el fin de buscar una relación entre las actividades productivas y los metales estudiados. Se encuentra una relación entre el As, Cu, Pb, Mo, Cd, Hg y Zn y el proceso metalúrgico de fundición y refinación de mineral de cobre y una relación entre V y Fe y las termoeléctricas de la zona y/o actividades de refinación de petróleo.

Contaminantes determinados como relevantes: Por lo tanto, considerando las diferentes actividades productivas que se realizan en la zona, los contaminantes de interés del sector corresponden a todos los metales y metaloides, excepto níquel.

2.1.2 Contaminación de suelos producto de la descarga aluvial durante la tormenta del desierto de Atacama en marzo del año 2015

Antecedentes de evento de contaminación: A finales de marzo de 2015, un núcleo frío en altura afectó una extensa zona del país desde la región de Atacama hasta la región del Maule, con la presencia de chubascos y tormentas eléctricas. El evento desencadenó procesos de remoción en masa y flujos aluvionales que afectaron a cauces de ríos, zonas urbanas, predios agrícolas y actividades productivas que se desarrollaban en la zona.

Este evento dio origen a flujos de detritos y barro que inundaron y afectaron con particular severidad la cuenca del río Copiapó. En la ciudad de Copiapó y el sector de Tierra Amarilla se registraron importantes daños en viviendas, donde las alturas de inundación llegaron a superar incluso los 2 metros.

Se produjo también el desborde del río Salado en la localidad de Diego de Almagro a alrededor de las 6 AM del día 25 de marzo. Por otra parte, setenta kilómetros aguas abajo, en Chañaral, el poder destructivo de la crecida aluvional a lo largo del cauce del río Salado se incrementó significativamente debido a las contribuciones provenientes desde las quebradas Las Ánimas y Saladito. En esta localidad la crecida aluvional arrasó la ciudad con un gigantesco volumen de arena, arcilla y limo, combinado con elementos antrópicos como por ejemplo escombros de viviendas, vehículos, y bienes muebles, entre otros

Estudio o estudios realizados relacionados al evento de contaminación:

Diagnóstico y evaluación de potenciales riesgos en las comunas de Chañaral y Diego de Almagro (2016)²

Este estudio busca evaluar los riesgos potenciales existentes en las comunas de Chañaral y Diego de Almagro a partir de la presencia de sustancias químicas en el suelo, de manera de poder realizar un diagnóstico de la situación ambiental actual, incluyendo una evaluación de los potenciales riesgos y la determinación de los niveles background de metales en los suelos de la zona en estudio.

El estudio logra realizar un diagnóstico de la situación actual en las comunas de Chañaral y Diego de Almagro, las zonas de influencia y escenarios de exposición en el territorio de acuerdo a eventuales situaciones de riesgo. Respecto a los análisis de suelo realizados, se obtiene que el Mo, Cu y Hg sobrepasan

² Estudio “Diagnóstico y evaluación de potenciales riesgos en las comunas de Chañaral y Diego de Almagro” realizado por CENMA para el Ministerio del Medio Ambiente el año 2016

significativamente los valores background identificados en la zona y que el Cd, Zn, As, Cu, Ni, Pb, Ag, V, Ba, Co, Mo, Fe y Hg también superan los valores background, pero en menor magnitud.

De esta forma, se estima de forma preliminar que existiría para infantes y niños un riesgo, mientras que para adultos no existiría un riesgo asociado.

Diagnóstico y evaluación de potenciales riesgos en las comunas de Copiapó y Tierra Amarilla (2015)³

El estudio busca evaluar los riesgos potenciales existentes en las comunas de Copiapó y Tierra Amarilla a partir de la presencia de sustancias químicas en el suelo, de manera de poder realizar un diagnóstico de la situación ambiental actual, incluyendo una evaluación de los potenciales riesgos y la determinación de los niveles background de metales en los suelos de la zona en estudio.

Los resultados del estudio muestran que al compararse con los resultados background del sector, para la comuna de Tierra Amarilla supera el valor background el Cd, Zn, Cr, As, Cu, Ni, Al, Mn, Ba, Co, Fe, Hg y Pb. Para la comuna de Copiapó supera el background los contaminantes: Cd, Zn, As, Cu, Al, Mn, Ba, Co, Fe, Hg y Pb.

Contaminantes determinados como relevantes: Considerando los valores obtenidos, los contaminantes de interés corresponden a los metales y metaloides.

2.1.3 Emergencia sanitaria ambiental en ex faenas Sector F (Sitio F y Promel)

Antecedentes de evento de contaminación: Entre los años 1984 y 1985, la Empresa Promel ingreso por el Puerto de Arica cerca de 20.000 toneladas de mercancías caracterizadas como “barros con contenidos minerales” provenientes desde Suecia, los cuales fueron calificados como “no tóxicos” y a los cuales no se les realizó análisis en su ingreso. Promel arrendo el Sitio F para su almacenamiento (ubicado al Noreste del centro de la ciudad) y un sitio contiguo para el procesamiento de los barros (Sitio Promel).

En 1995, en las cercanías del sector, se construyeron y entregaron las poblaciones Cerro Chuño y Los Industriales, incluyendo las Villa el Solar, Villa Amanecer y Villa Los Laureles.

En 1997 se comienzan las gestiones para el retiro de los “barros minerales”, sin embargo, nuevas muestras enviadas al ISP arrojan altas concentraciones de As, Cd, Hg, Cu y Zn calificándose la situación como emergencia sanitaria ambiental. Entre enero y marzo de 1998 se reubican los barros en un sector denominado “Quebrada Encantada”, donde los residuos fueron protegidos por una lámina HDPE resistente y sobre ella una cubierta protectora de suelo, además, de un cierre perimetral y señalización adecuada. Posterior a esto, el sitio F fue recubierto con suelo proveniente de otros sectores nivelando el terreno, además de instalar una capa asfáltica. En una porción del sitio se construyeron canchas de cemento con graderías para prácticas deportivas.

Por su parte, el sitio Promel contaba con un socavón de entre 8 y 10 metros de profundidad, el cual fue rellenado con ripios, relaves y lixiviados remanentes de las pruebas de lixiviación realizadas en el mismo sitio, además, se dispuso también en el socavón los residuos provenientes del mejoramiento de la Avenida

³ Estudio “Diagnóstico y evaluación de potenciales riesgos en las comunas de Copiapó y Tierra Amarilla” realizado por CENMA para el Ministerio del Medio Ambiente el año 2016

Capitán Avalos hasta que este quedase nivelado. En el año 2017, existía la sospecha de que en el sitio se estuviesen disponiendo suelos provenientes de trabajos de construcción de un centro comercial el cual estaría afectado en el pasado por la presencia de polimetales⁴.

En el año 2009, se elaboró un plan para abordar la situación de contaminación por polimetales en Arica donde se establecieron criterios orientadores para la intervención en los ámbitos de educación y vivienda, y se definió un programa de salud para la población expuesta. También, en el año 2010 se desarrolló un estudio de factibilidad técnico-económica de tecnologías de remediación para los suelos contaminados del sitio F, siendo la impermeabilización hidráulica la mejor opción para eliminar el riesgo.

Sumado a estos estudios, se han realizado diversos otros en los cuales se realizan mediciones para saber la concentración de polimetales en los diferentes sectores de la ciudad de Arica y por cuanto supera a los valores background de la región. En todos estos estudios, se ha llegado a la conclusión que las concentraciones de los polimetales (As, Hg, Cd, Cr y Pb) son ampliamente superiores a los valores background de la ciudad.

Respecto a los receptores que se encontraban en los alrededores de los sitios, estos pasaron varios años en contacto directo con los residuos, ya que estos se encontraban a la intemperie y con acceso libre al sitio. La Ley 20.590 del año 2012 que “Establece un programa de intervención en zonas con presencia de polimetales en la comuna de Arica”, fija un plan de acción integral en materia de vivienda y urbanismo, salud, educación, planificación y medio ambiente, para el área contaminada en la comuna de Arica. Se definieron dos grandes áreas: una relocalización para las poblaciones de Cerro Chuño y casos puntuales de Los Industriales y un área de remediación con la ejecución de proyectos en espacios públicos en áreas donde no se relocalizará la población.

El plan de acción de remediación incluyó la construcción del complejo deportivo Esteban Alvarado y el paseo Avenida Azolas, consistente en la ejecución de un paseo peatonal. Respecto a la relocalización de las poblaciones de Cerro Chuño un grupo de familias fueron trasladadas a los proyectos de Doña Elisa, y al proyecto Santa Magdalena y, en abril del 2015, se dio curso a la relocalización del último grupo importante de familias afectadas por Polimetales hacia el sector Punta Norte.

El año 2014 comenzó la demolición de Cerro Chuño, sin embargo, cuando las familias dejaron sus casas y las devolvieron a SERVIU, más de 200 de estas viviendas fueron tomadas ilegalmente. En la actualidad, existe un proceso de demolición interrumpido, ya que evidentemente se requiere que el sector esté deshabilitado para poder demolerlo.

Tomando en consideración lo anterior, de que los acopios de residuos han sido removidos y se ha cubierto el suelo, se podría considerar que la exposición a la contaminación no existe. Sin embargo, a lo largo de los años se han realizado varios estudios que buscan determinar la contaminación existente en los alrededores inmediatos y en la ciudad de Arica, con el fin de identificar si los contaminantes presentes pudiesen seguir presentando un posible riesgo a la salud de las personas.

⁴ Todo esto provisto por el Sr. Marcelo Copa de la SEREMI de Salud de la región de Arica el 1 de Septiembre del año 2017, motivo del proyecto “Evaluación confirmatoria sitio-específico del riesgo ambiental en sitios con potencial presencia de contaminantes en la Región de Arica y Parinacota” ejecutado por IdeAmbiente para el Ministerio del Medio Ambiente el año 2017.

Contaminantes determinados como relevantes: As, Hg, Cd y Pb.

2.1.4 Contaminación por plomo proveniente de fábrica de pilas y baterías en Freire

Antecedentes de evento de contaminación: En la región de La Araucanía, comenzó en la década de los 70 a funcionar una industria recuperadora de plomo a partir de baterías y la posterior fabricación de lingotes para la venta. Sin embargo, en la década de los 90 comenzaron a surgir sospechas por parte de la población de la contaminación ambiental que generaba la planta.

Por este motivo, se realizaron mediciones de plomo en la sangre a los trabajadores y residentes y, a la flora y fauna del sector, los cuales confirmaron la presencia de plomo. Se decide en el año 1995 el cierre y clausura de la industria, donde al no existir una normativa que regulase el cierre adecuado, el lugar fue abandonado sin realizar alguna medida de remediación al sitio.

En el “Estudio de contaminación ambiental por plomo en la comuna de Freire”, publicado en la Revista Médica del Sur (Quijada et al, 1986) se indica: *“Con el objeto de determinar la presencia de contaminación ambiental por plomo (Pb) a partir de una fábrica de baterías de Freire, y establecer los sectores de mayor exposición, se efectuó muestreo y análisis de Pb en sangre de 77 habitantes de la comuna, distribuidos en los siguientes grupos poblacionales: G1: Sector Rural absoluto (N = 15). G2: Sector Urbano de Freire (N = 25). G3: Sector Urbano adyacente a la fábrica (N = 14). G4: Trabajadores de la Fábrica (N = 23). El promedio de niveles de Pb en sangre en G1 fue de 0,007 mg/100 ml y en G2 de 0,014 mg/100 ml. Valores considerados normales según la Occupational Safety in Health Administration (OSHA). El G3 el promedio de Pb en sangre fue de 0,030 mg/100 ml, siendo el valor normal para los habitantes de pueblo rural de 12 mg/100 ml (p 0,001) y en G4 el promedio fue de 0,066 mg/100 ml. para un valor aceptable de 0,040 mg/100 ml (p 0,001). Se concluye que existe un problema de contaminación ambiental por Pb en la comuna de Freire siendo los grupos afectados aquellos constituidos por los Trabajadores y los Habitantes del sector adyacente a la fábrica. Se discuten los factores determinantes en la distribución de los sectores de mayor contaminación y se realizan sugerencias para la solución del problema”.*

Se realizaron diversos estudios en el sitio con el fin de confirmar la contaminación. En el año 2019 se realizó un estudio⁵ de evaluación de riesgo donde se encontró que las concentraciones de plomo y arsénico en el sitio siguen siendo elevadas y representan actualmente un riesgo para las personas que hagan uso habitual y por un largo periodo de tiempo de tipo recreacional y/o industrial.

Contaminantes determinados como relevantes: Al, Sb, As, Ba, Cu, Mo, Ni, Pb, V y Zn.

2.1.5 Contaminación de Playa Las Petroleras por eventos de filtración de hidrocarburos y derrame de crudo

Antecedentes de evento de contaminación: En la ciudad de Antofagasta el año 1920 comienza a operar la planta Codelco (arrendada posteriormente a Shell) y ESSO como almacenamiento de combustible. En el año 2000 se produce un derrame de 140 m³ de Diésel 2D desde la planta Esso, aparentemente producto de un temblor, en un estanque por falta de hermeticidad en su base. Ese mismo año se llevaron a cabo estudios

⁵ Estudio “Evaluación del riesgo ambiental en un sitio de la comuna de Freire y determinación de presencia de contaminantes en sitios con potencial presencia de contaminantes de la región de la Araucanía” realizado por IdeAmbiente para el Ministerio del Medio Ambiente el año 2019

y trabajos de recuperación como respuesta a la filtración de diésel los cuales consideraron la construcción de drenes horizontales y el recambio de suelo en el exterior de la planta. Estudios realizados posteriormente⁶ infieren que parte del combustible derramado no fue retirado y siguió atrapado en el subsuelo del lugar.

Adicionalmente, en el año 2005 se detectó un afloramiento de hidrocarburos en la Playa Las Petroleras por una posible nueva fuga. Shell comienza un proceso de limpieza y extracción de hidrocarburos a través del retiro del suelo afectado y la instalación de un “dren francés” con el fin de contener la contaminación. Estas medidas al parecer no fueron exitosas, ya que, en el año 2010 se detecta nuevamente un afloramiento de hidrocarburos en la playa.

Sumado a los eventos de fuga de combustible de ambas plantas de almacenamiento, se suman eventos de contaminación de la playa producto del derrame de crudo de barcos. El primer evento ocurrió el año 2005 donde el encallamiento del barco Eider ocasionó la rotura de un estanque contaminando el sector con hidrocarburo. Posteriormente, el año 2012, la nave panameña “El Puma” derramó petróleo en el mar contribuyendo aún más a la contaminación del sitio.

Productos de todos estos eventos ocurridos en la Playa Las Petroleras, se han realizado diversos estudios con diversas finalidades. Entre ellos tenemos que se realiza por DISAB S.A. una Fase I a la planta ESSO en el año 2004 y una Fase II en el año 2005 con sus respectivos sondeos para muestrear suelo y aguas subterráneas. En el año 2014, Fundación Chile realiza un monitoreo ambiental en 6 ubicaciones de la Playa, sondeos, calicatas y pozos de los cuales se extraen muestras para su análisis por hidrocarburos. CENMA en el año 2014 realiza un estudio enfocado únicamente en un muestreo superficial de la playa por metales/metaloides, encontrándose niveles elevados de Cd, Cr, As y Cu.

Por último, en el año 2018 WSP/Emgrisa realizan un estudio del sitio y se aplica Fase II y Fase III con el objetivo de delimitar y confirmar los niveles de contaminación ya encontrados en los estudios mencionados y de esta forma, evaluar a través de una evaluación de riesgo ambiental, si el sitio presenta un riesgo para la salud de las personas. Se realizan calicatas y muestras superficiales y con ayuda del software RBCA Tool Kit, se determinó para los diferentes escenarios si existía riesgo en los receptores encontrándose que, existe un riesgo tóxico para la vía de exposición inhalación de partículas y vapores en exterior para el residente correspondiente a un trabajador en exterior que tiene su lugar de trabajo fuera del sitio, el residente que vive en las cercanías del sitio y los transeúntes que pasean o realizan actividades deportivas en el sitio.

Estos receptores afectados presentan riesgo tóxico por el compuesto de interés correspondiente a la cadena de hidrocarburo alifático C₁₂-C₁₆. Por otra parte, existe un riesgo cancerígeno por la ingestión y contacto dérmico con el suelo afectado para el receptor transeúnte que pasea o realiza actividades deportivas dentro del sitio. El riesgo evaluado asociado a la ingestión y contacto dérmico con agua oceánica y la ingestión de pescado, entregó valores bajo los límites de referencia, por lo que, los contaminantes presentes en el sitio no generan un riesgo asociado al baño y la pesca.

Contaminantes determinados como relevantes: Metales y metaloides, hidrocarburos, BTEX y PAHs.

⁶ Estudio “Diagnóstico de Riesgo Ambiental, Región de Antofagasta. Componente b) Estudio de Riesgo Ambiental en suelos abandonados” realizado por WSP/Emgrisa para el Gobierno Regional de Antofagasta el año 2019

2.2 Jurisprudencia Relevante Administrativa y Judicial respecto de la Contaminación de Suelos

2.2.1 Tranque de Relaves Las Palmas, Minera Tambillos: Segundo Tribunal Ambiental, rol D-14-2014

Este es el caso de una demanda por daño ambiental que presentó en 2014 por Inversiones J y B Limitada en contra de la minera y Sernageomin.

El tranque de relave Las Palmas, ubicado en la comuna de Penciahue, es parte de una antigua faena minera abandonada, propiedad de SCM Tambillos, continuadora y sucesora legal de la Sociedad Contractual Minera Las Palmas S.A., la cual contaba con una faena minera de extracción de oro que funcionó hasta el año 1998.

Producto del terremoto del año 2010 el tranque de relaves colapsó, provocó un alud de 200.000 m³ de material rocoso, restos de minerales y materiales tóxicos. Producto de dicha situación fue arrasada una vivienda y causó la muerte de cuatro personas que la habitaban; como así también alcanzó a cubrir con material tóxico 10 hectáreas de la propiedad de la demandante.

Respecto de la afectación al componente suelo se indica que la Seremi de Salud debió prohibir el uso agrícola y restringir el uso residencial del predio de la demandante, dado que las muestras realizadas presentaron altas concentraciones de cianuro. Señala la sentencia que dicha resolución de la autoridad sanitaria indica: *“la norma de la Unión Europea establece un valor máximo para arsénico de 20 mg/kg en el suelo para uso residencial y en el resultado de análisis [...] dentro de terreno del señor Jurgens da un valor de 30 mg/kg. Que la norma canadiense de calidad de suelo para la protección del medio ambiente y la salud humana establece un valor máximo de 0.9 mg/kg en suelo agrícola y en resultado de análisis realizado por el laboratorio acreditado Cesmec, dentro del terreno del señor Jurgens, da un valor de 24 mg/kg”*.

Por su parte, SCM Tambillos presentó como prueba el análisis de cinco muestras de suelo que habrían arrojado valores inferiores al límite de detección con la metodología utilizada (EPA 9013/16), pero este análisis fue desechado por el Tribunal debido a que el análisis fue realizado con una semana de diferencia desde la toma de muestras, sin acreditarse metodología de la toma de muestra, como así tampoco la cadena de custodia de las mismas, por lo que no son fiables.

El Tribunal se refiere a lo señalado por el testigo que presentó la demandada, el cual señaló que no existen antecedentes sobre la extensión ni el modo de la afectación al suelo, pues si lo hubiere, sería dable esperar que tanto el Cianuro como el Arsénico se encuentren en concentraciones menores a las determinadas en el informe de CESMEC. En cuanto a la existencia de riesgo a la salud humana o al medio ambiente, señala que las muestras de relave analizadas según lo señalado por CESMEC, no presentarían características de toxicidad aguda, para las vías de ingreso analizadas (ingesta, inhalación y contacto), y que dado que el relave se encuentra cubierto por una membrana de HDPE, que impide que exista contacto por vía dérmica, ingesta o inhalación de sus componentes, existe una baja probabilidad de efectos tóxicos crónicos. Este planteamiento el Tribunal lo desecha por cuanto la prueba documental de la demandante consiste en informes emanados de Órganos Públicos con competencia ambiental, los antecedentes de contexto y la visita inspectiva del Tribunal que, contrastada con la declaración de un solo testigo de la demandada, permiten concluir que se ha afectado un total de aproximadamente 50 hectáreas de suelo. Agrega a ello que, aproximadamente 10 ha de suelo se encuentran en la actualidad totalmente cubiertas con una gruesa capa de residuos peligrosos, sin un tratamiento definitivo, perdiendo, como es evidente, toda aptitud o valor. Adicionalmente, y teniendo en cuenta los resultados de los análisis en el predio de la demandante que arrojaron altas concentraciones de cianuro y arsénico, se decretó la prohibición de uso agrícola y restricción de uso habitacional en todo el predio cuya extensión es de aproximadamente 44 hectáreas, generándose una pérdida del valor ambiental de dicho terreno. Teniendo presente la superposición que

existe entre un segmento del predio del demandante y las 10 hectáreas cubiertas de relaves, en definitiva, el total de la superficie afectada alcanza aproximadamente 50 hectáreas. Con esto, el Tribunal estima suficiente para establecer que existe una afectación permanente al componente suelo.

Por otro lado, respecto a la significancia de esta afectación el tribunal toma en consideración lo siguiente:

- El criterio del grado de toxicidad del contenido del relave, ya que conforme a lo establece el artículo 3 del D.S. 148/2003 MINSAL en relación al artículo 11 del citado cuerpo legal, dicho contenido corresponde a desechos que por sus características físico—químicas de peligrosidad intrínseca, tienen el potencial -por si mismos o combinaciones de éstos— de representar un riesgo para la salud pública y/o efectos adversos al medio ambiente, ya sea directamente o debido a su manejo actual o previsto.
- En cuanto a la peligrosidad de este tipo de residuos, D.S. 148/2003 establece que ella es determinada según se trate de materiales tóxicos, inflamables, reactivos o corrosivos. A su vez, la toxicidad puede ser aguda, crónica o extrínseca dependiendo de la magnitud de sus efectos letales en ensayos de laboratorio o en función de la información técnica disponible sobre sus sustancias componentes (Art. 12). El mismo cuerpo legal señala en su artículo 18 (Tabla 2), que se considerarán peligrosos los residuos que contengan cianuro en forma orgánica o inorgánica, a menos que su generador pueda demostrar ante la Autoridad Sanitaria que no presentan ninguna característica de peligrosidad.
- La calificación del contenido del relave como residuo peligroso, fue realizada por la autoridad sanitaria la que estableció, por una parte, que se trataba de residuos cuyo contenido de sustancias tóxicas era alto (pH, cianuro y otros metales pesados) , y por otra, que su potencial de lixiviación también era alto, el cual fue determinado a través del método "Lixiviación por Precipitación Sintética", tal como lo establece el artículo 23 del D.S. 148/2003. Esto significa que, debido a las características físico—químicas del relave derramado, las sustancias tóxicas presentes en éste no están confinadas químicamente o formando complejos moleculares estables, y por lo tanto, tienen la capacidad cierta de diluirse y moverse a través de los suelos y las aguas superficiales y subterráneas.
- Se debe considerar la alta probabilidad de que el daño siga extendiéndose. Ello, debido a que el D.S. 148/2003 establece estrictas reglas en relación al almacenamiento y eliminación de los residuos peligrosos. En efecto, el artículo 33 establece una serie de requisitos especiales de almacenamiento que, en este caso concreto, no se cumplen. Lo mismo sucede respecto a las disposiciones relacionadas con su eliminación, en particular, los artículos 78 y 79 que permiten la eliminación de residuos peligrosos, como el de este caso, "*en el mismo lugar en que se encuentren ubicados a través de sistemas de disposición de carácter especial que serán autorizados por la Autoridad Sanitaria en base a la evaluación de riesgo que ésta haga para cada caso*". Para estos efectos —agrega el artículo 78, el interesado deberá presentar un proyecto específico que asegure el control de todos los riesgos que puedan afectar la salud de la población [...] Los sistemas propuestos deberán garantizar -a retención, inmovilización, aislamiento o solidificación de los residuos o, en su defecto, su tratamiento de tal manera de minimizar la migración de los contaminantes al medio ambiente.
- La demandada incumplió las reglas sobre eliminación de residuos peligrosos, y ello queda de manifiesto en el Informe Relave Las Palmas que realizó la Seremi de Salud, que en sus conclusiones señala lo siguiente: "Finalmente, cabe señalar que el Relave Las Palmas constituye dentro de la Región un inminente potencial de contaminación con evidente riesgo para las personas, vida silvestre, cauces, fauna entre otros receptores dado que actualmente es un Residuo Peligroso expuesto que sólo se encuentra cubierto con una geomembrana de vida útil aproximada de 7 años.

Es necesario proteger a las personas y el medio ambiente asegurando en el tiempo que dichos residuos peligrosos se mantengan confinados y no generen impactos adversos negativos.”

- Se debe considerar, además, la dimensión temporal de la afectación y su reversibilidad. En el primer caso, se encuentra acreditado, conforme a la prueba analizada en este capítulo de daño, que la afectación a los atributos agrícolas y habitacional es del componente suelo es de carácter permanente, habiéndose extendido ya por más de seis años, y la que se mantendrá mientras no se tomen las medidas definitivas en relación a los relaves derramados. En cuanto a la reversibilidad, se debe considerar la capacidad y tiempo de regeneración, por sí mismo, del componente afectado. A la luz de las características de la afectación, hay antecedentes que permiten determinar que esta no se regeneraría en un horizonte de tiempo relevante para la escala humana, de no mediar medidas de reparación atingentes.

Por lo señalado, el Tribunal Ambiental da por configurado el daño ambiental al componente suelo y ordenó realizar un Plan de Reparación Ambiental (PRA) con el fin de asegurar la estabilidad física y química y recuperar los atributos dañados de los suelos afectadas, lo que permitirá, adicionalmente, aminorar el riesgo para la seguridad y salud de las personas y el medio ambiente.

Las medidas que Tribunal estableció para el PRA son las siguientes:

- Efectuar un análisis de estabilidad del actual tranque y del área afectada por el derrame y proponer a la autoridad sectorial las mejoras para evitar futuros derrames ante un sismo máximo probable, utilizando magnitudes de aceleración debidamente validadas. Lo anterior, en un plazo de 3 meses, contados desde la notificación de la sentencia.
- Asegurar la total impermeabilidad de la carpeta de HDPE existente y presentar un proyecto para implementar un sistema que permita la recolección, conducción y descarga de aguas lluvia que escurran por sobre la carpeta de HDPE, sin dañar sus anclajes, ni la superficie de la misma, para evitar que se generen aguas de contacto con el relave y poder descargarlas hacia cauces superficiales en condiciones inocuas para el medio ambiente la calidad de las aguas de dichos cauces. Dicho sistema contará con un programa de monitoreo de calidad del agua y medidas de control de la misma. Todo ello, en un plazo de 2 meses contados desde la notificación de la sentencia.

En febrero de 2020 se solicitó el cumplimiento incidental de la sentencia⁷, dado que no se han realizado las acciones señaladas en el PRA, lo que está a la espera de resolución a la fecha.

2.2.2 Minera Montecarmelo: Segundo Tribunal Ambiental, rol D-32-2016

Esta es una demanda por daño ambiental contra el proyecto "Procesamiento de Sales Metálicas", cuyo titular es Minera Montecarmelo el cual consiste en el tratamiento de pasivos mineros y disposición final de ciertos productos contaminantes propios de la minería.

En 2016, luego de fuertes lluvias las piscinas decantadoras donde se depositaba el material químico propio de la faena minera, cedieron, escurriendo por los terrenos ubicados en la localidad de Los Maitenes y el estero La Greda, área de extensas parcelas ocupadas para la siembra de alfalfa.

⁷ Acción judicial que se intenta contra el obligado en una sentencia judicial que se encuentra firme y ejecutoriada, por regla general ante el mismo tribunal que la dictó.

El Tribunal sostiene que se produjo afectación del componente suelo de la quebrada y de los predios de los demandantes, en la localidad Los Maitenes, por el escurrimiento de RILes y arrastre de sólidos ocurrido con motivo de las lluvias de julio de 2016, y el grado de afectación para considerarlo como daño ambiental lo funda en lo siguiente:

- En el documento 'Muestreo de Suelos para las comunas de Quintero y Puchuncaví, Región de Valparaíso', se analiza, entre otras cosas, el enriquecimiento por metales pesados de los suelos en estas comunas. Dicho análisis se realiza calculando el Factor de Enriquecimiento (FE) para los elementos analizados al comparar el contenido de estos metales con aquellos observados en lugares sin intervención antrópica, los que son considerados sitios control (o sitios de referencia) para efectos de la comparación. Para esto se calcula la razón entre el sitio de interés y el sitio control, con lo que valores superiores a la unidad (FE: 1) son indicativos de un aumento con respecto al sitio de referencia. Los resultados de este informe indican que los suelos de estas comunas presentan un factor enriquecimiento (FE) significativo en los primeros 15 cm de profundidad al ser comparados con suelos ubicados fuera del área de influencia del Complejo Industrial Ventanas, particularmente para los elementos arsénico (FE: 15,22), telurio (FE: 10,83) y cobre (FE: 9,91), lo cual sería indicativo de alteración antrópica. Quincuagésimo segundo.
- Por su parte, el informe 'Resultados Muestreo Confirmatorio Metales Pesados 2° Versión Impacto por Escurrimiento de Líquidos del Proyecto Sales metálicas, Minera Montecarmelo S.A., elaborado por la consultora Algoritmos, a solicitud de la SMA, da cuenta de los resultados de la campaña de muestreo realizada para "establecer si los suelos de sectores que debieron estar expuestos al contacto de aguas lluvias, que escurren desde las instalaciones de Minera Montecarmelo, revelan un contenido de metales pesados que difiere de aquellos que no se pueden haber visto expuesto a los mismos", y para "descartar la influencia de los escurrimientos de aguas lluvias de otros sectores con actividad antrópica". A tal efecto, se estableció como sectores expuestos a estos escurrimientos, el fondo de la quebrada (noroeste instalaciones) y la parte baja de la planicie (continuación noroeste de la quebrada y antes del área de influencia del estero Campiche), destinada a actividades agrícolas, lo cual se muestra en la Figura:

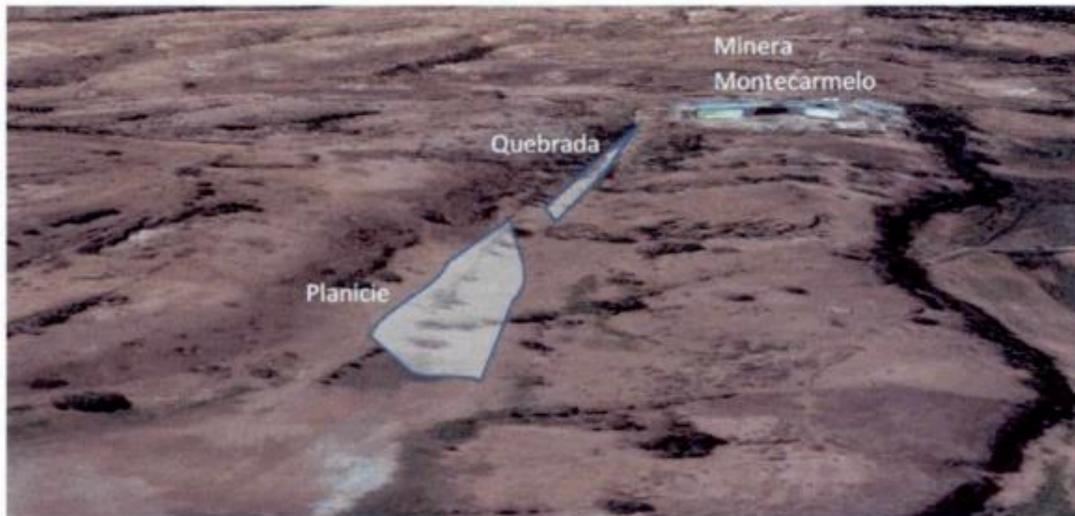


Figura 1. Sectores expuestos a los escurrimientos de acuerdo al informe 'Resultados Muestreo Confirmatorio Metales Pesados 2° Versión Impacto por Escurrimiento de Líquidos del Proyecto Sales metálicas, Minera Montecarmelo S.A.' (Superintendencia del Medio Ambiente 2016).

Figura 1 - Sectores expuestos a escurrimientos Minera Montecarmelo

- Respecto de la presencia de arsénico, el informe concluye que: "el mayor valor de Arsénico en suelo se registró en la muestra que se tomó dentro de las instalaciones de Minera Montecarmelo"; "la concentración de Arsénico dentro del predio supera en 1,2 al mayor valor de zonas no afectas"; "el valor máximo de Arsénico en las zonas no afectas (puntos de muestreo L-1, L-2, L-3 y Q-1) al escurrimiento es de 47,61 (mg/kg). Este valor es consistente con los valores de concentración del estudio encargado por el Ministerio del Medio Ambiente"; "salvo el Punto Q-2, en donde el suelo presenta una mayor dureza y compactación, las concentraciones de Arsénico en las zonas afectas superan las de las zonas no afectas"; y "los puntos Q-3 a Q-6 si se comparan con los puntos definidos para cada uno de ellos en zonas no afectas, muestran un incremento de concentración de Arsénico y en donde el menor valor de las zonas afectas supera en un 697% al mayor valor de las zonas no afectas"
- En cuanto al plomo, el informe concluye que: "el mayor valor de Plomo en suelo se registró en la muestra que se tomó dentro de las instalaciones de Minera Montecarmelo"; "la concentración de Plomo dentro del predio supera en 998% al mayor valor de zonas no afectas"; "el valor máximo de Plomo en las zonas no afectas (puntos de muestreo L1, L-2, L-3 y Q-1) al escurrimiento es de 85,4 (mg/kg). Este valor es consistente con los valores de concentración del estudio encargado por el Ministerio del Medio Ambiente"; "salvo el punto Q-2, que presentó una dureza y compactación mayor a los otros puntos, las concentraciones de Plomo en las zonas afectas superan la de las muestras de las zonas no afectas"; y "los puntos Q-3 a Q-6 si se comparan con los puntos definidos para cada uno de ellos en zonas no afectas, muestran un incremento de concentración de Plomo y en donde el menor valor de las zonas afectas supera en un 291 al mayor valor de las zonas no afectas".
- Respecto del cobre, concluye que: "el mayor valor de Cobre en suelo se registró en la muestra que se tomó dentro de las instalaciones de Minera Montecarmelo"; "la concentración de Cobre dentro del predio supera en un 951 el mayor valor obtenido en zonas no afectas"; "el valor máximo de

Cobre en las zonas no afectas (puntos de muestreo L-1, L-2, L3 y Q-1) al escurrimiento es de 294,7 (mg/kg). Este valor es consistente con los valores de concentración del estudio encargado por el Ministerio de Medio Ambiente"; y "los puntos Q-2 a Q-5 si se comparan con los puntos definidos para cada uno de ellos en zonas no afectas, muestran un incremento de concentración de Cobre y en donde el menor valor de las zonas afectas supera en un 161 al mayor valor de las zonas no afectas"

- En lo que se refiere al zinc, el informe concluye que: "el mayor valor de Zinc en suelo se registró en la muestra que se tomó dentro de las instalaciones de Minera Montecarmelo"; "la concentración de Zinc dentro del predio supera en 8321 al mayor valor de zonas no afectas"; "el valor máximo de Zinc en las zonas no afectas (puntos de muestreo L-1, L-2, L-3 y Q-1) al escurrimiento es de 186,9 (mg/kg). Este valor es consistente con los valores de concentración del estudio encargado por el ministerio del Medio Ambiente"; "las concentraciones de Zinc en las zonas afectas superan las de las zonas no afectas"; y "los puntos Q-3 a Q-6 si se comparan con los puntos definidos en zonas no afectas, muestran un incremento de concentración de Zinc y en donde el menor valor de las zonas afectas supera en un 2221 al mayor valor de las zonas no afectas"
- Por su parte, la SEREMI de Salud de Valparaíso, con ocasión del escurrimiento, efectuó y analizó dos muestreos los días 29 de julio y 1° de agosto de 2016, tomando muestras en APR Los Maitenes, de sedimentos y residuos líquidos derramados, en donde concluye que respecto de la concentración de los metales presentes en la muestra, señala que "las más elevadas corresponden a Arsénico 4377 mg/kg, Cobre total 16750 mg/kg, Plomo 10573 mg/kg y Zinc 19200 mg/kg".
- El informe pericial de la BIDEA y su estudio anexo concluye que al observar los resultados de la concentración de metales pesados determinados el año 2016, se establece que (...) en todos los puntos de muestreo se mantienen valores de plomo, cadmio, arsénico, y zinc por sobre los valores promedios observados en los puntos controles y en la norma canadiense de referencia, implica que existe un aporte importante de estos elementos que degrada la calidad del suelo lo que constituye un hecho de contaminación [...] , situación que se ha mantenido en el tiempo en los lugares afectados por el derrame.

Por lo señalado, el Tribunal determina que se produjo afectación del suelo de la quebrada y los predios de los demandantes de la localidad Los Maitenes, comuna de Puchuncaví, en una superficie cercana a las 10 ha, por el escurrimiento de RILes y arrastre de sólidos desde las instalaciones de Minera Montecarmelo, que contenían sustancias químicas y metales pesados. La elevada concentración de algunos de estos metales o sustancias supera con creces los ya elevados niveles basales de ellos en dicha comuna, lo cual hace que la afectación sea significativa y, por consiguiente, constitutiva de daño ambiental.

Señala el Tribunal que, aun cuando en Chile no existen normas de referencia para contaminantes en suelo, utilizando como referencia la Norma Canadiense para contenido de metales en suelos agrícolas (*Canadian Environmental Quality Guidelines*), es posible establecer que los valores máximos observados en los muestreos realizados por SMA y la Policía de Investigaciones (PDI), para todos los metales analizados (arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc), se encuentran por sobre los valores recomendados para suelo agrícola, como se indica en la tabla siguiente:

Elemento	Valores máximos observados Muestreo SMA ¹ (mg/kg suelo)	Valores máximos observados Muestreo PDI ² (mg/kg suelo)	Valores recomendados Norma Canadiense ³ (mg/kg suelo)
Plomo	921,2	692	70
Cadmio	33,8	77	1,4
Arsénico	379,5	2.147	12
Zinc	1.409,9	1.956	250
Cobre	1.158,9	857	63

Fuentes: ¹Informe 'Resultados Muestreo Confirmatorio Metales Pesados 2° Versión Impacto por Escurrimiento de Líquidos del Proyecto Sales metálicas, Minera Montecarmelo S.A.' (Superintendencia del Medio Ambiente 2016); ²Informe Pericial N° 39 (Anexo N° 15 del informe de la BIDEA 2018); ³Canadian Environmental Quality Guidelines (<http://ceqg-rcqe.ccme.ca/en/index.html>).

Figura 2 - Comparación de metales en Montecarmelo con normativa internacional

Se le condena por daño ambiental, y se le ordena presentar un Plan de Reparación ante la SMA atendida la información científica disponible la materia y las características del suelo dañado, que es citada en el fallo, el Tribunal Ambiental concluye que la forma de reparación o restauración más eficaz y menos invasiva de la zona contaminada en la quebrada y los predios de los demandantes de la localidad Los Maitenes, Puchuncaví, es la fitorremediación o fitorrestauración, y minimizando la pérdida de suelo. Para el caso que no sea posible aplicar dichas medidas, deberá presentar alternativas conforme a la evaluación de riesgos que proponga y que sea aprobada por la SMA.

El Plan de Reparación tiene las siguientes exigencias:

- Contemplar la caracterización detallada de la zona a restaurar, en términos de superficie y de todo parámetro que permita evaluar la evolución de la restauración del suelo.
- Proponer objetivos e indicadores y un programa de monitoreo asociados a ellos, con parámetros y sus respectivas metodologías, estableciendo la frecuencia de mediciones y de entrega de informes a las entidades indicadas para su adecuado seguimiento.
- Establecer las metas de restauración y estimar la duración de la implementación de las medidas de fitorremediación; la ejecución del Plan de Restauración deberá considerar aspectos como la duración de los ciclos de vida de las especies involucradas, procesos edáficos y los efectos de la variabilidad ambiental, tales como estacionalidad, El Niño (ENSO), cambio climático, etc., sobre variables relevantes, por ejemplo la precipitación, a fin de garantizar el éxito a largo plazo de las medidas propuestas

2.2.3 Planta Fundición Alcones: Procedimiento Sancionatorio Superintendencia del Medio Ambiente D-039-2019

Este se trata de un procedimiento sancionatorio contra la Planta de Fundición de Alcones, la cual fue construida y habilitada entre los años 1995 y 1996, y consiste en una planta de fundición de plomo, la que actualmente fundiría principalmente "pasta de plomo" como "materia prima", cuyo origen es del tratamiento de baterías de plomo.

La fundición contaba con patente municipal industrial del rubro fundición y procesadora de metales y chatarras, desde el año 1995 e informe sanitario favorable, pero sin RCA aprobada.

En 2015 la SMA comienza la fiscalización y luego el procedimiento sancionatorio, en virtud de una denuncia de la Seremi de Salud por realizar eliminación y tratamiento de residuos peligrosos sin contar con autorización para ello, además la clausura del establecimiento hasta principios de 2016, en donde obtuvo su autorización sanitaria.

Luego de ello, la SMA recibe denuncias por hechos concretos y en especial una por elusión de ingreso del proyecto al sistema de evaluación de impacto ambiental (SEIA), y comienza su investigación, la cual determina que existe elusión al SEIA.

La determinación de este cargo lo funda la SMA en el hecho de que es posible constatar que la empresa desde el año 2013, ha estado en pleno conocimiento que su capacidad instalada supera la capacidad de producción, disposición o reutilización de sustancias tóxicas que se realice durante un semestre o más, en una cantidad igual o superior a diez mil kilogramos diarios (10.000 kg/día) de acuerdo a lo establecido en el literal ñ.l) del RSEIA, si se tratara de sustancias peligrosas, y que supera la capacidad de 1.000 Kg/día (1 ton/día) para la eliminación o tratamiento de "Otros residuos peligrosos", de acuerdo a lo establecido en el literal 0.9) del RSEIA, considerando a la "materia prima" como residuo proveniente de baterías de plomo de desuso.

En cuanto a los efectos, es posible sostener que la Planta Fundición Alcones se encuentra generando los efectos del artículo 11 letra a) de la Ley 19.300, esto es "Riesgo para la salud de la población debido a la cantidad y calidad de efluentes, emisiones, o residuos", toda vez que es de público y notorio conocimiento la noticia publicada en el Diario El Epígrafe con fecha 20 de febrero de 2019, en la que se declara por parte del SEREMI de Salud de la VI Región Rafael Borgoño lo siguiente: "Tenemos información que seis trabajadores tendrían más de 40 microgramos por 100 ml de plomo en sangre, por lo que excede el límite de la tolerancia biológica, por lo mismo levantamos un acta y se prohibió el funcionamiento de la fundición que cuenta con tres hornos" ⁸ (énfasis agregado).

Que, asimismo es dable suponer que la instalación se encuentra generando además los efectos del artículo 11 letra b) de la Ley 19.300: "Efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos suelo, agua y aire", toda vez que durante la fiscalización realizada por esta SMA con fecha 14 de marzo de 2018, se constató la presencia de partes de baterías de plomo enterradas en suelo descubierto, sin ningún tipo de tratamiento o manejo, no siendo posible determinar la cantidad de residuos peligrosos dispuestos.

⁸ Disponible en: <https://eltipografo.cl/2019/02/seremi-de-salud-prohibe-funcionamiento-a-fundicion-de-plomo-enmarchigue/>

Que, además se constató en la fiscalización que hizo la SMA el almacenamiento de "materia prima", en suelo desnudo, no reuniendo las condiciones estructurales y sanitarias para el almacenamiento de una sustancia peligrosa, con clasificación de riesgo clase 6.1, escoria a granel acumulada en suelo desnudo, así como también derrame de petróleo en suelo desnudo en el área de la instalación donde se ubica el estanque de 7.000 L con petróleo, y un área de 100 m² aproximadamente con acopio de maxisacos con "cenizas de bronce", a la intemperie expuestos a la lluvia y sol.

Lo anterior, sumado a las cantidades de "pasta plomo" que presumiblemente produce la instalación y almacena sin los resguardos exigidos por la ley, así como también el extenso tiempo de funcionamiento durante el cual se encuentra operando, tiempo que según las declaraciones de la propia Empresa en sus últimas consultas de pertinencia ingresadas al SEA, correspondería en sus inicios a mediados del año 1995, y habida consideración de las numerosas oportunidades en que el propio SEA de O'Higgins resuelve el ingreso obligatorio a evaluación ambiental, así como también las denuncias recibidas, es dable suponer la configuración de efectos adversos al medio ambiente y a uno o más de sus componentes.

Por ello sostiene la SMA que es posible configurar el tipo infraccional de elusión al SEIA, al encontrarse la empresa produciendo y almacenando sustancias y/o residuos tóxicos, vulnerando lo dispuesto en el artículo 30 letras ñ.1 y 0.9 del RSEIA, produciendo los efectos del artículo 11 letras a) y b) de la Ley 19.300.

La empresa presentó un programa de cumplimiento, el cual fue rechazado y hasta la fecha no se ha resuelto el procedimiento sancionatorio debido a las suspensiones que ha tenido el proceso producto de la contingencia del COVID 19, por lo que los descargos del titular recién fueron presentados en noviembre de 2020.

3 Actividad 3.2 Identificación de normativa nacional existente para los contaminantes de interés seleccionados u otros de relevancia identificados y relevados por la contraparte técnica, indistintamente de la matriz ambiental normada, a fin de analizar cobertura normativa de los contaminantes

En Chile, la normativa de carácter ambiental se divide en dos grandes categorías; las normas de calidad y las normas de emisión, las cuales imponen una obligación y cuyo cumplimiento debe ser acreditado. Las normas de calidad a su vez se dividen en primarias y secundarias, siendo las normas primarias aquellas normas de calidad que tienen por objetivo proteger la salud humana, en cambio, las normas secundarias tienen por objetivo proteger o conservar el medio ambiente, se destaca además que éstas últimas son de carácter y aplicabilidad local.

Por otro lado, existen también las normas chilenas oficiales (NCh) que carecen de obligatoriedad, y se presentan como pautas en diversos procesos. Estas normas son de naturaleza técnica, creadas por el Instituto Nacional de Normalización (INN) en conjunto con instituciones pertinentes a cada temática, que pasan a considerarse oficiales mediante decreto y que se encuentran a disposición para ser compradas. Cabe mencionar que de esta categoría solo se discutirán aquellas normas que establezcan niveles máximos de los parámetros que sean relevantes para la contaminación de suelos.

Finalmente, dentro de este informe se abordan otras normativas fuera de las categorías mencionadas previamente, pero que son de relevancia para la matriz de suelo. Entre estas se encuentran reglamentos y otras resoluciones atinentes.

En el Anexo 1 se presenta el listado de todas las normas nacionales revisadas para esta evaluación. Este listado contiene la totalidad de las normas revisadas independientemente de su inclusión o no en el análisis de su interacción con la matriz de suelo.

3.1 Normas de Calidad

3.1.1 Normas primarias

3.1.1.1 Decreto 144/2008: Normas de calidad primaria para la protección de las aguas marinas y estuarinas aptas para actividades de recreación con contacto directo

El D.S. 144/2008 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia establece los niveles de calidad ambiental que deben cumplir las aguas marinas y estuarinas del país donde se realicen actividades de recreación con contacto directo, de manera de asegurar la salud de la población. Adicionalmente, este decreto establece niveles de emergencia ambiental diarios para situaciones de excepción. Ambos valores son presentados a continuación en la Tabla 1, donde se destacan en **negrita** los indicadores que dictan relación con contaminantes de suelo.

Tabla 1 - Valores máximos permisibles y nivel de emergencia diario para aguas marinas y estuarinas aptas para actividades de recreación con contacto directo

INDICADOR	UNIDAD	PERCENTIL (2)	VALOR MÁXIMO PERMITIDO	NIVEL DE EMERGENCIA DIARIO
Color	Pt-Co	80	100	200
pH	-	95	6,0 - 8,5 (1)	5,5 - 9,0 (1)
Cianuro	mg/L	95	0,77	1,2
Arsénico	mg/L	95	0,11	0,2
Cadmio	mg/L	95	0,033	0,1
Cromo	mg/L	95	0,55	1
Mercurio	mg/L	95	0,011	0,071
Plomo	mg/L	95	0,11	0,36
Coliformes fecales (NMP)	NMP/100 mL	100	1000	>1000

(1) El pH está expresado en términos de valor mínimo y máximo.

(2) Percentil: Corresponde al valor "q" calculado a partir de los valores efectivamente medidos para cada compuesto o elemento en cada estación de monitoreo, aproximados a la unidad de medida correspondiente más próxima. Todos los valores se anotarán en una lista establecida por orden creciente para cada área determinada: $X_1 \leq X_2 \leq \dots \leq X_k \leq \dots \leq X_{n-1} \leq X_n$. Por vía de ejemplo, para el caso del cálculo del percentil 80, será el valor del elemento de orden "k" donde "k" se calculará por medio de la siguiente fórmula: $k = q * n$, en donde "q=0,80" y "n" corresponde al número de valores efectivamente medidos. El valor "k" se aproximará al número entero más próximo.

Contaminantes relevantes

Se destaca del D.S. 144/2008 la regulación de cianuro, metales y metaloides en aguas marinas y estuarinas con contacto directo, estos elementos se han identificado como potenciales contaminantes de suelos en sectores relacionados con actividades mineras, sus procesos y residuos industriales.

Interacción con la matriz suelo

El agua marina y de estuario tiene el potencial de impactar suelos aledaños en bordes costeros, afectando directamente a la matriz de suelo. El contacto constante del suelo con las aguas enriquecidas con contaminantes puede generar el enriquecimiento en contaminantes, alterando así la calidad química de suelos y generando un potencial riesgo para la salud de la población.

3.1.1.2 Decreto 143/2008: Normas de calidad primaria para las aguas continentales superficiales aptas para actividades de recreación con contacto directo

El D.S. 143/2008 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia establece los niveles de calidad ambiental que deben cumplir las aguas continentales superficiales del país donde se realicen actividades de recreación con contacto directo, de manera de asegurar la salud de la población. Las aguas continentales superficiales corresponden a las que se encuentran naturalmente a la vista del hombre y que pueden ser corrientes o detenidas, tales como ríos, lagos, lagunas y embalses.

También, este decreto establece niveles de emergencia ambiental diarios en situaciones de excepción. Los valores máximos permitidos y los de nivel de emergencia son presentados en Tabla 2 donde se destacan en **negrita** los parámetros que dictan relación con contaminantes de suelo.

Contaminantes relevantes

Se destaca del D.S. 143/2008 la regulación de cianuro, metales y metaloides en aguas continentales superficiales con contacto directo, estos elementos se han identificado como potenciales contaminantes de suelos en sectores relacionados con actividades mineras, sus procesos y residuos industriales. Se destaca también la regulación de plaguicidas y otros compuestos orgánicos que se relacionan con uso extensivo en agricultura; y la regulación de coliformes fecales atribuibles a aguas servidas u otros desechos.

Interacción con la matriz suelo

Las aguas continentales superficiales tienen el potencial de impactar suelos aledaños en bordes de lago y ríos afectando directamente a la matriz de suelo. El contacto del suelo con las aguas enriquecidas con contaminantes puede generar enriquecimiento en estos compuestos, alterando así la calidad de suelos y generando un potencial riesgo químico o biológico para la salud de la población.

Tabla 2 - Valores máximos permisibles y nivel de emergencia diario para aguas continentales superficiales aptas para actividades de recreación con contacto directo

INDICADOR	UNIDAD	PERCENTIL (1)	VALOR MÁXIMO PERMITIDO	NIVEL DE EMERGENCIA DIARIO
Color	Escala Pt-Co	80	100	200
pH	-	95	6,0 - 8,5	5,5 - 9,0
Cianuro	mg/L	95	0,77	1,2
Bifenilos policlorados (PCBs)	mg/L	90	0,0055	0,005
Diclorometano	mg/L	90	0,22	0,6
Benzo(a)pireno	mg/L	90	0,0022	0,06
Tetracloruro de carbono	mg/L	90	0,022	0,071
Ácido 2,4 diclorofenoxiacético (2,4 D)	mg/L	90	0,33	1
Aldrín * y Dieldrín *	mg/L	80	0,00033	0,01
Atrazina	mg/L	90	0,022	0,05
Carbofurano	mg/L	90	0,055	0,167
Clordano*	mg/L	80	0,0022	0,05
Clorotalonil	mg/L	90	1,21	3
Cyanazina	mg/L	90	0,0066	0,02

INDICADOR	UNIDAD	PERCENTIL (1)	VALOR MÁXIMO PERMITIDO	NIVEL DE EMERGENCIA DIARIO
Heptaclor*	mg/L	80	0,00033	0,01
Lindano*	mg/L	80	0,022	0,5
Simazina	mg/L	90	0,022	0,052
Trifluralina	mg/L	90	0,22	0,75
Arsénico	mg/L	95	0,11	0,2
Cadmio	mg/L	95	0,033	0,1
Cromo	mg/L	95	0,55	1
Mercurio	mg/L	95	0,011	0,071
Plomo	mg/L	95	0,11	0,36
Coliformes fecales (NMP)	NMP/100 mL	100	1000	>1000

(1) Percentil: Corresponde al valor "q" calculado a partir de los valores efectivamente medidos para cada compuesto o elemento en cada estación de monitoreo, aproximados a la unidad de medida correspondiente más próxima. Todos los valores se anotarán en una lista establecida por orden creciente para cada área determinada: X1, X2, ..., Xk, ..., Xn-1, Xn. Por vía de ejemplo, para el caso del cálculo del percentil 80, será el valor del elemento de orden "k" donde "k" se calculará por medio de la siguiente fórmula: $k = q * n$, en donde "q=0,80" y "n" corresponde al número de valores efectivamente medidos. El valor "k" se aproximará al número entero más próximo

*Plaguicidas prohibidos por el SAG

3.1.1.3 Decreto 114/2002: Norma primaria de calidad de aire para dióxido de nitrógeno (NO₂)

El D.S. 114/2002 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia establece la concentración máxima de dióxido de nitrógeno en el aire con la finalidad de proteger la salud de la población de los efectos agudos y crónicos ocasionados por la exposición a este contaminante. A continuación, en la Tabla 3 se presentan los niveles de NO₂ admisibles con revisión de monitoreo anual y de 1 hora. Así mismo, en la Tabla 4 se establecen los distintos niveles de emergencia ambiental expresados como concentración de 1 hora.

Tabla 3 - Niveles de dióxido de nitrógeno en el aire según tipo de monitoreo

MONITOREO	CONCENTRACIÓN	
	ppbv	µg/m ³ N
Anual	53	100
1 hora	213	400

Tabla 4 - Niveles de emergencia ambiental, como concentración de NO₂ en 1 hora

EMERGENCIA	CONCENTRACIÓN	
	ppbv	µg/m ³ N
Nivel 1	601 - 1201	1130 - 2259
Nivel 2	1202 - 1595	2260 - 2999
Nivel 3	1596 o superior	3000 o superior

Contaminantes relevantes

Se destaca del D.S. 114/2002 la regulación de dióxido de nitrógeno en aire, compuesto que ha cobrado relevancia por sus consecuencias a corto y largo plazo en la salud de la población y que se relacionan con emisiones industriales.

Interacción con la matriz suelo

El dióxido de nitrógeno, bajo ciertas condiciones, reacciona con el agua presente en el aire generando una reacción química que resulta en ácido nítrico y nitratos. Ambos compuestos al precipitar sobre los suelos expuestos, a través de lluvia ácida, contribuyen al efecto de acidificación de suelos alterando así la calidad química del suelo.

3.1.1.4 Decreto 104/2018: Norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre (SO₂)

El D.S. 104/2018 del Ministerio del Medio Ambiente establece la concentración máxima de dióxido de azufre en el aire con la finalidad de proteger la salud de la población de los efectos agudos y crónicos ocasionados por la exposición a este contaminante. A continuación, se presentan los niveles de dióxido de azufre normados de acuerdo al tipo de monitoreo como también las concentraciones que determinan los distintos niveles de emergencia.

Tabla 5 - Niveles de dióxido de azufre en el aire según tipo de monitoreo

MONITOREO	CONCENTRACIÓN	
	ppbv	µg/m ³ N
Anual	23	60
24 horas	57	150
1 hora	134	350

Tabla 6 - Niveles de emergencia ambiental, como concentración de SO₂ en 1 hora

NIVEL		CONCENTRACIÓN	
		ppbv	µg/m ³ N
1	Alerta	191 - 247	500 - 649
2	Preemergencia	248 - 362	650 - 949
3	Emergencia	363 o superior	950 o superior

Contaminantes relevantes

Se destaca del D.S. 104/2018 la regulación de dióxido de azufre en aire, compuesto que ha cobrado relevancia por sus consecuencias a corto y largo plazo en la salud de la población y que se relacionan con emisiones industriales.

Interacción con la matriz suelo

El dióxido de azufre, bajo ciertas condiciones, reacciona con el agua presente en el aire generando una reacción química que resulta en compuestos ácidos. Estos compuestos al precipitar sobre los suelos

expuestos, a través de lluvia ácida, contribuyen al efecto de acidificación de suelos alterando así la calidad química del suelo.

3.1.1.5 Decreto 136/2000: Norma de calidad primaria para plomo en el aire

El D.S. 136/2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia establece el límite de plomo presente en el aire de acuerdo a la recomendación de la Organización Mundial de la Salud, con el objetivo de proteger la salud de la población del país y en particular la población infantil, considerando efectos crónicos que se generan debido a la exposición prolongada a este contaminante. En la Tabla 7 se presenta el valor normado de plomo para un monitoreo anual.

Tabla 7 - Nivel de Plomo en el aire para monitoreo anual

MONITOREO	CONCENTRACIÓN $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$
Anual	0,5

Contaminantes relevantes

Se destaca del D.S. 136/2000 la regulación de la concentración de plomo en aire, un metal identificado como potencial contaminante de suelos en sectores relacionados con actividades mineras, sus procesos y residuos industriales. Se destaca también la relación de este metal con la industria automotriz; como también los efectos crónicos y agudos en la salud de la población.

Interacción con la matriz suelo

El plomo presente en el aire puede interactuar con la matriz de suelo mediante la deposición del material enriquecido sobre diversas superficies, ya sean plantas, agua o suelo; produciendo una interacción que enriquece de plomo el suelo.

3.1.2 Normas secundarias

3.1.2.1 Decreto 1/2015: Normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Valdivia

El D.S. 1/2015 del Ministerio del Medio Ambiente regula la presencia de contaminantes en la cuenca del río Valdivia, de manera de prevenir que estos puedan significar un riesgo para la protección o conservación del medio ambiente. Para el control de esta normativa se han establecido diez áreas de vigilancia comprendidas en los cauces de los ríos Cruces, Valdivia, San Pedro y Calle Calle. De esta forma, se establecen los niveles de calidad para cada contaminante de acuerdo a lo indicado en la Tabla 8, donde se destacan en **negrita** los parámetros que dictan relación con contaminantes de suelo. Cabe destacar que esta norma se encuentra derogada desde el año 2017, sin embargo, se incluye de igual forma en el análisis de contaminantes de interés.

Contaminantes relevantes

Se destaca del D.S. 1/2015 de MMA la regulación de metales como el aluminio, cobre, cromo, hierro, manganeso y zinc en aguas continentales superficiales de la cuenca del río Valdivia. Estos elementos se han identificado como potenciales contaminantes de suelos en sectores relacionados con actividades mineras, sus procesos y residuos industriales.

Interacción con la matriz suelo

Las aguas continentales superficiales tienen el potencial de impactar suelos aledaños en bordes de lago y ríos afectando directamente a la matriz de suelo. El contacto del suelo con las aguas enriquecidas con contaminantes puede generar enriquecimiento en estos compuestos, alterando así la calidad de suelos y generando un potencial riesgo químico para la salud de la población.

Tabla 8 - Valores máximos permisibles para aguas continentales superficiales de la cuenca del río Valdivia para cada área de vigilancia

ELEMENTO O COMPUESTO	UNIDAD	Áreas de vigilancia definidas									
		RSP	RCC I	RCC II	RCC III	RV	RC I	RC II	RC III	RC IV	SNCA
pH	-	6,3 - 8,0	6,3 - 8,0	6,3 - 8,5	6,3 - 8,5	6,3 - 8,5	6,3 - 8,0	6,3 - 8,0	6,3 - 8,0	6,3 - 8,0	6,3 - 8,5
Oxígeno disuelto	mg/l	> 9	> 9	> 9	> 8	> 8	> 9	> 9	> 9	> 9	> 8
Conductividad eléctrica	µS/cm	70	70	-	-	-	70	70	70	70	-
Sulfato	mg/l	3	3	-	-	-	3	7	7	7,8	-
Sodio	mg/l	4,6	4,6	-	-	-	4,4	8,3	8,3	7,9	-
Cloruro	mg/l	5,3	7,1	-	-	-	6,4	7,6	7,6	8,1	-
DBO	mg/l	2	2	2	2	3	2,5	2,5	2,5	2,5	3
Aluminio total	mg/l	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,22	0,22
Aluminio disuelto	mg/l	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Cobre total	mg/l	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
Cobre disuelto	mg/l	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Cromo total	mg/l	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Hierro total	mg/l	0,1	0,2	0,2	0,2	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
Hierro disuelto	mg/l	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Manganeso total	mg/l	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,02	0,14
Manganeso disuelto	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Zinc total	mg/l	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
Zinc disuelto	mg/l	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
Nitrato (N-NO ₃)	mg/l	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Fosfato	mg/l	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Compuestos orgánicos halogenados	mg/l	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006

3.1.2.2 *Decreto 9/2015: Normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Biobío*

El D.S. 9/2015 del Ministerio del Medio Ambiente regula la presencia de contaminantes en la cuenca del río Biobío, con la finalidad de mantener o mejorar la calidad de las aguas de la cuenca, y así conservar o preservar los ecosistemas acuáticos y sus servicios ecosistémicos. Para el control de esta normativa se han establecido catorce áreas de vigilancia comprendidas en los cauces de los ríos Biobío, Bureo, Duqueco, Laja, Malleco, Renaico y Vergara. De esta forma, se establecen los niveles de calidad para cada contaminante de acuerdo a lo indicado en la Tabla 9, donde se destacan en **negrita** los parámetros asociados a contaminación del suelo.

Contaminantes relevantes

Se destaca del D.S. 9/2015 la regulación de metales como el aluminio y el hierro en aguas continentales superficiales de la cuenca del río Biobío. Estos elementos se han identificado como potenciales contaminantes de suelos en sectores relacionados con actividades mineras, sus procesos y residuos industriales. Por otro lado, se destaca también la regulación de compuestos orgánicos halogenados y otros compuestos orgánicos que se relacionan con uso extensivo en agricultura; y la regulación de coliformes fecales atribuibles a aguas servidas u otros desechos.

Interacción con la matriz suelo

Las aguas continentales superficiales tienen el potencial de impactar suelos aledaños en bordes de lago y ríos afectando directamente a la matriz de suelo. El contacto del suelo con las aguas enriquecidas con contaminantes puede generar enriquecimiento en estos compuestos, alterando así la calidad de suelos y generando un potencial riesgo químico o biológico para la salud de la población.

Tabla 9 - Valores máximos permisibles para aguas continentales superficiales de la cuenca del río Biobío para cada área de vigilancia

CONTAMINANTE	UNIDAD	Áreas de vigilancia													
		BI-10	BI-20	BI-30	BI-40	BI-50	BI-60	BU-10	DU-10	LA-10	LA-20	LA-30	MA-10	RE-10	VE-10
Aluminio total	mg/l	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	0,4								
Amonio	mg N/l	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03
Compuestos orgánicos halogenados	mg/l	0,002	0,01	0,03	0,03	0,02	0,03	0,01	0,02	0,002	0,006	0,01	0,002	0,002	0,03
Cloruro	mg/l	3	7	7	8	8	-	4	4	3	3	3	4	5	6
Coliformes fecales	NMP/100ml	50	50	500	500	1000	1000	1000	1000	50	50	500	50	50	500
Conductividad eléctrica	µS/cm	80	90	150	150	150	-	80	120	80	95	150	60	60	80
DBO	mg/l	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
DQO	mg/l	5	5	8	8	5	7	9	6	3	3	8	6	7	10
Fósforo total	mg/l	0,03	0,02	0,04	0,05	0,05	0,07	0,05	0,05	0,02	0,02	0,1	0,03	0,02	0,06
Hierro total	mg/l	0,3	0,3	0,3	0,5	0,7	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
Índice Fenol	mg/l	0,003	0,004	0,005	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,002	0,003	0,003	0,002	0,002	0,004
Nitrato	mg N/l	0,03	0,03	0,15	0,15	0,15	0,2	0,2	0,2	0,04	0,03	0,15	0,04	0,03	0,2
Nitrito	mg N/l	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,01	0,006	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,01
Nitrógeno total	mg/l	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,6	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,4
Ortofosfato	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,1	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,05
Oxígeno disuelto	mg/l	10	10	9	9	8,7	8,7	9	9	9	8,7	8,7	10	9	9
Sólidos Suspendidos totales	mg/l	8	4	7	8	9	8	10	5	2	2	5	5	5	6
Sulfato	mg/l	5	6	6	14	14	-	5	5	7	6	6	5	5	10

El valor de pH debe encontrarse entre 6,5 y 8,5 para todas las áreas de vigilancia.

3.1.2.3 *Decreto 53/2013: Normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Maipo*

El D.S. 53/2013 del Ministerio del Medio Ambiente regula la presencia de contaminantes en la cuenca del río Maipo, con la finalidad de mantener o mejorar la calidad de las aguas de la cuenca, y así conservar o preservar los ecosistemas acuáticos y sus servicios ecosistémicos. Para el control de esta normativa se han establecido once áreas de vigilancia comprendidas en los cauces de los ríos Maipo, Angostura, Mapocho, Estero Lampa y Espero Puangue. De esta forma, se establecen los niveles de calidad para cada contaminante de acuerdo a lo indicado en la Tabla 10, donde se destacan en **negrita** los parámetros asociados a contaminación del suelo.

Contaminantes relevantes

Se destaca del D.S. 53/2013 la regulación de metales como plomo, níquel, zinc y cromo en aguas continentales superficiales de la cuenca del río Maipo. Estos elementos se han identificado como potenciales contaminantes de suelos en sectores relacionados con actividades mineras, sus procesos y residuos industriales.

Interacción con la matriz suelo

Las aguas continentales superficiales tienen el potencial de impactar suelos aledaños en bordes de lago y ríos afectando directamente a la matriz de suelo. El contacto del suelo con las aguas enriquecidas con contaminantes puede generar enriquecimiento en estos compuestos, alterando así la calidad de suelos y generando un potencial riesgo químico para la salud de la población.

Tabla 10 - Valores máximos permisibles para aguas continentales superficiales de la cuenca del río Maipo para cada área de vigilancia

PARÁMETRO	UNIDAD	MA-1	MA-2	MA-3	MA-4	MA-5	MP-1	MP-2	AN-1	LA-1	PU-1	PU-2
Oxígeno disuelto	mg/l	8	8	8	8	6	8	6	6	5	8	5
Conductividad eléctrica	μS/cm	1900	1900	1900	1600	1600	400	1600	1600	1900	400	1750
pH	-	6,5-8,7	6,5-8,7	6,5-8,7	6,5-8,7	6,5-8,7	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Cloruro	mg/l	300	240	240	180	180	30	240	180	240	30	240
Sulfato	mg/l	430	380	380	380	380	150	380	380	480	150	380
DBO	mg/l	8	8	8	8	8	5	10	10	10	5	10
Nitrato (N-NO ₃ -)	mg/l	0,5	0,5	0,5	4	8	1,5	10	4	4	1,5	10
Ortofosfato (P-PO ₄ -)	mg/l	0,08	0,08	0,08	0,15	1	0,08	2,5	0,15	0,6	0,6	2,5
Plomo disuelto	mg/l	0,007										
Níquel disuelto	mg/l	0,02										
Zinc disuelto	mg/l	0,03										
Cromo total	mg/l	0,05										

3.1.2.4 *Decreto 75/2009: Normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Serrano*

El D.S. 75/2009 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia regula la presencia de contaminantes en la cuenca del río Serrano, con la finalidad de prevenir el deterioro ambiental, recuperar, proteger y conservar la biodiversidad acuática y mantener la calidad de estas aguas. Para el control de esta normativa se han establecido nueve áreas de vigilancia comprendidas en los cauces de los ríos Paine, Serrano, Grey, Las Chinas, Baguales, Vizcachas, Don Guillermo y Tres Pasos. De esta forma, se establecen los niveles de calidad para cada contaminante de acuerdo a lo indicado en la Tabla 11, donde se destacan en **negrita** los parámetros asociados a contaminación del suelo.

Contaminantes relevantes

Se destaca del D.S. 75/2009 la regulación de metales como aluminio, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, plomo, selenio y zinc en aguas continentales superficiales de la cuenca del río Serrano. Estos elementos se han identificado como potenciales contaminantes de suelos en sectores relacionados con actividades mineras, sus procesos y residuos industriales. Por otro lado, se destaca también la regulación de la Razón de adsorción de sodio (RAS) que se utiliza para estudiar la actividad relativa de los iones sodio en las reacciones de intercambio con el suelo. Por último, se destaca también la regulación de coliformes fecales atribuibles a aguas servidas u otros desechos.

Interacción con la matriz suelo

Las aguas continentales superficiales tienen el potencial de impactar suelos aledaños en bordes de lago y ríos afectando directamente a la matriz de suelo. El contacto del suelo con las aguas enriquecidas con contaminantes puede generar enriquecimiento en estos compuestos, alterando así la calidad de suelos y generando un potencial riesgo químico o biológico para la salud de la población.

Tabla 11 - Valores máximos permisibles para aguas continentales superficiales de la cuenca del río Serrano para cada área de vigilancia

PARÁMETROS	UNIDAD	PA-10	SE-10	SE-20	GR-10	CH-10	BA-10	VI-10	DG-10	TP-10
Aluminio	mg/l	9	1	3	3	10	7	6	1	1
Cadmio	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Cloruro	mg/l	8	10	8	8,5	8	10	11	26	15
Cobre	mg/l	0,05	0,08	0,01	0,07	0,05	0,09	0,06	0,06	0,04
Coliformes Fecales	NMP/100ml	-	10	-	-	-	-	-	-	-
Conductividad Eléctrica	μS/cm	80	180	80	340	300	370	360	550	370
Cromo	mg/l	0,06	0,06	0,01	0,06	0,05	0,06	0,08	0,07	0,06
Hierro	mg/l	16	1	3	5	12,7	35	28	5	4
Manganeso	mg/l	0,3	0,1	0,2	0,08	2	0,7	0,6	0,1	0,05
Mercurio	mg/l	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Molibdeno	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Niquel	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Oxígeno disuelto (1)	mg/l	9,8	9,5	7,9	8,6	7	9,2	7,3	9,3	9,7
pH (2)	Unidad	7-8	7-8	7-8	7-8	7-8	7-8	7-8	7-8	7-8
Plomo	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
RAS (3)	-	0,2	0,5	0,4	0,7	1	0,8	0,8	-	0,7
Selenio	mg/l	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Sulfato	mg/l	5	13	5	5	56	30	28	58	29
Zinc	mg/l	0,04	0,02	0,04	0,02	0,09	0,04	0,09	0,05	0,05

(1) Expresado en términos de valor mínimo

(2) Expresado en términos de valor máximo y mínimo

(3) Razón de adsorción de sodio (RAS). Relación utilizada para expresar la actividad relativa de los iones sodio en las reacciones de intercambio con el suelo. Cuantitativamente como miliequivalentes: $RAS = Na / ((Ca + Mg) / 2)^{1/2}$ En que, Na; Ca y Mg = Son respectivamente las concentraciones en miliequivalentes por litro, de iones sodio, calcio y magnesio

3.1.2.5 Decreto 22/2009: Norma de calidad secundaria de aire para anhídrido sulfuroso (SO₂)

El D.S. 22/2009 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia establece valores del contaminante anhídrido sulfuroso en el aire, con el objetivo de proteger y conservar los recursos naturales. Para efectos de esta norma el territorio nacional se divide en zona norte y zona sur, y se establecen límites de concentración según monitoreo anual, de 24 horas y 1 hora. En la Tabla 12 se detallan estos valores.

Tabla 12 - Concentraciones máximas de anhídrido sulfuroso según tipo de monitoreo

MONITOREO	ZONA NORTE		ZONA SUR	
	ppbv	µg/m ³ N	ppbv	µg/m ³ N
Anual	31	80	23	60
24 horas	140	365	99	260
1 hora	382	1000	268	700

Contaminantes relevantes

Se destaca del D.S. 22/2009 la regulación de anhídrido sulfuroso (dióxido de azufre) en aire, compuesto que ha cobrado relevancia por sus consecuencias a corto y largo plazo en la salud de la población y que se relacionan con emisiones industriales.

Interacción con la matriz suelo

El dióxido de azufre, bajo ciertas condiciones, reacciona con el agua presente en el aire generando una reacción química que resulta en compuestos ácidos. Estos compuestos al precipitar sobre los suelos expuestos, a través de lluvia ácida, contribuyen al efecto de acidificación de suelos alterando así la calidad química del suelo.

3.1.2.6 Decreto Exento 4/1992: Normas de calidad del aire para material particulado sedimentable en la cuenca del río Huasco III región

El D.S. 4/1992 del Ministerio de Agricultura establece niveles máximos para material particulado sedimentable en la cuenca del río Huasco, con el objetivo de proteger las áreas silvoagropecuarias y los recursos naturales renovables. Los niveles establecidos son detallados a continuación en la Tabla 13.

Tabla 13 - Concentraciones máximas de material particulado sedimentable y hierro presente en el mismo

PARÁMETRO	MONITOREO	CONCENTRACIÓN (1)
Material particulado sedimentable	Mensual	150
	Anual	100
Hierro en el material particulado sedimentable	Mensual	60 (2)
	Anual	30

- (1) Concentración en miligramos por metro cuadrado por día.
- (2) Con excepción de los meses septiembre, octubre, noviembre y la primera mitad de diciembre, donde el límite será de 30 miligramos por metro cuadrado por día.

Contaminantes relevantes

Se destaca del D.S. 4/1992 la regulación de hierro en el material particulado sedimentable, elemento que se ha identificado como potencial contaminante de suelos en sectores relacionados con actividades mineras, sus procesos y residuos industriales

Interacción con la matriz suelo

El material particulado sedimentable presente en la cuenca del río Huasco tiene el potencial de impactar los suelos aldeaños afectando directamente a la matriz de suelo. El contacto con el suelo se da mediante deposición del material sedimentable sobre cultivos y suelos, que enriquecen la matriz de interés con contaminantes relevantes.

3.2 Normas de Emisión

A continuación, se presentan las normas de emisión que son atinentes a la revisión realizada en este documento. Se destaca que existe una gran cantidad de normas de emisión, pero se abordarán en este informe solo las relevantes para la contaminación de suelo; dejando fuera las normas que regulan emisiones de actividades específicas.

3.2.1.1 *Decreto 90/2000: Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales*

El D.S. 90/2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia establece los límites máximos de contaminantes que pueden contener los residuos líquidos descargados en aguas marinas y continentales superficiales, con la finalidad de proteger el medio ambiente y prevenir la contaminación de las aguas a nivel nacional.

Esta norma determina distintos niveles de concentración de contaminantes según el cuerpo de agua al que se refiera:

- I. Aguas fluviales
- II. Aguas fluviales considerando la capacidad de dilución del receptor
- III. Aguas lacustres
- IV. Aguas marinas dentro de la zona de protección litoral
- V. Aguas marinas fuera de la zona de protección litoral

En la Tabla 14 se presentan los valores normados según los cuerpos de agua listados anteriormente.

Contaminantes relevantes

Se destaca del D.S. 90/2000 la regulación de diversos metales, metaloides y cianuro en las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales, estos elementos se han identificado como potenciales contaminantes de suelos en sectores relacionados con actividades mineras, sus procesos y residuos industriales. Se destaca también la regulación de plaguicidas y otros compuestos orgánicos que se relacionan con su uso extensivo en agricultura. Por último, cobra relevancia la regulación de Hidrocarburos

fijos, volátiles y totales relacionados a actividades de almacenamiento y uso de combustibles en faenas industriales y otros similares.

Interacción con la matriz suelo

Las descargas de residuos líquidos en cuerpos de agua marina y continentales superficiales tienen el potencial de impactar los suelos adyacentes en especial en bordes de lago y ríos, afectando directamente a la matriz de suelo. El contacto del suelo con las aguas enriquecidas con contaminantes puede generar enriquecimiento en estos compuestos, alterando así la calidad de suelos y generando un potencial riesgo químico para la salud de la población.

Tabla 14 - Límites máximos de contaminantes según tipo de cuerpo de agua

CONTAMINANTE	UNIDAD	EXPRESIÓN	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO SEGÚN CUERPO DE AGUA				
			I	II	III	IV	V
Aceites y Grasas	mg/l	A y G	20	50	20	20	150
Aluminio	mg/l	Al	5	10	1	1	10
Arsénico	mg/l	As	0,5	1	0,1	0,2	0,5
Boro	mg/l	B	0,75	3	-	-	-
Cadmio	mg/l	Cd	0,01	0,3	0,02	0,02	0,5
Cianuro	mg/l	CN-	0,2	1	0,5	0,5	1
Cloruros	mg/l	Cl-	400	2000	-	-	-
Cobre total	mg/l	Cu	1	3	0,1	1	3
Coliformes fecales o Termotolerantes	NMP/100ml	Coli/100ml	1000	1000	1000-70(3)	1000-70(3)	-
Índice de Fenol	mg/l	Fenoles	0,5	1	0,5	0,5	1
Cromo Hexavalente	mg/l	Cr6+	0,05	0,2	0,2	0,2	0,5
Cromo total	mg/l	Cr Total	-	-	2,5	2,5	10
DBO5	mg O2/l	DBO5	35 (1)	300	35	60	-
Estaño	mg/l	Sn	-	-	0,5	0,5	1
Fósforo	mg/l	P	10	5	2	5	-
Fluoruro	mg/l	F-	1,5	15	1	1,5	6
Hidrocarburos Fijos	mg/l	HF	10	50	-	-	-
Hidrocarburos Totales	mg/l	HCT	-	-	5	10	20
Hidrocarburos volátiles	mg/l	HCV	-	-	-	1	2
Hierro disuelto	mg/l	Fe	5	10	2	10	-
Manganeso	mg/l	Mn	0,3	3	0,5	2	4
Mercurio	mg/l	Hg	0,001	0,01	0,005	0,005	0,02
Molibdeno	mg/l	Mo	1	2,5	0,07	0,1	0,5
Niquel	mg/l	Ni	0,2	3	0,5	2	4
Nitrógeno total	mg/l	N	50 (2)	75 (2)	10	50 (2)	-
Pentaclorofenol	mg/l	C6OHCl5	0,009	0,01	-	-	-
pH	Unidad	pH	6,0 - 8,5	6,0 - 8,5	6,0 - 8,5	6,0 - 9,0	5,5 - 9,0
Plomo	mg/l	Pb	0,05	0,5	0,2	0,2	1
SAAM	mg/l	SAAM	-	-	10	10	15
Poder Espumógeno	mm	PE	7	7	-	-	-
Selenio	mg/l	Se	0,01	0,1	0,01	0,01	0,03
Sólidos sedimentables	ml/l/h	S SED	-	-	5	5	20
Sólidos suspendidos totales	mg/l	SS	80 (1)	300	80	100	300
Sulfatos	mg/l	SO42-	1000	2000	1000	-	-
Sulfuros	mg/l	S2-	1	10	1	1	5

CONTAMINANTE	UNIDAD	EXPRESIÓN	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO SEGÚN CUERPO DE AGUA				
			I	II	III	IV	V
Temperatura	°C	T°	35	40	30	30	-
Tetracloroetano	mg/l	C2Cl4	0,04	0,4	-	-	-
Tolueno	mg/l	C6H5CH3	0,7	7	-	-	-
Triclorometano	mg/l	CHCl3	0,2	0,5	-	-	-
Xileno	mg/l	C6H4C2H6	0,5	5	-	-	-
Zinc	mg/l	Zn	3	20	5	5	5

- (1) Para los residuos líquidos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas no se considerará el contenido de algas
- (2) Valor corresponde solo a nitrógeno Kjeldahl
- (3) En áreas aptas para acuicultura no debe sobrepasar los 70 NMP/100ml.

3.2.1.2 Decreto 46/2002: Norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas

El D.S. 46/2002 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia busca prevenir la contaminación de aguas subterráneas normando la carga de contaminantes presentes en los residuos líquidos que se infiltran a través del subsuelo del acuífero.

A continuación, se presentan los distintos parámetros normados para acuíferos con vulnerabilidad media y baja. En esta norma se entiende como vulnerabilidad del acuífero la velocidad con la que un contaminante puede migrar hasta la zona saturada del acuífero (donde se encuentra completamente ocupado por agua), de este modo, la vulnerabilidad baja implica que la velocidad de migración es baja.

Tabla 15 - Límite de contaminantes inorgánicos en residuos líquidos para descarga en aguas subterráneas

CONTAMINANTE	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO	
		VULNERABILIDAD MEDIA	VULNERABILIDAD BAJA
Cianuro	mg/l	0,2	0,2
Cloruros	mg/l	250	250
Fluoruro	mg/l	1,5	5
N-Nitrato + N-Nitrito	mg/l	10	15
Sulfatos	mg/l	250	500
Sulfuros	mg/l	1	5

Tabla 16 - Límite de contaminantes orgánicos en residuos líquidos para descarga en aguas subterráneas

CONTAMINANTE	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO	
		VULNERABILIDAD MEDIA	VULNERABILIDAD BAJA
Aceite y Grasas	mg/l	10	10
Benceno	mg/l	0,01	0,01
Pentaclorofenol	mg/l	0,009	0,009
Tetracloroetano	mg/l	0,04	0,04
Tolueno	mg/l	0,7	0,7
Triclorometano	mg/l	0,2	0,2
Xileno	mg/l	0,5	0,5

Tabla 17 - Indicadores físicos y químicos en residuos líquidos para descarga en aguas subterráneas

CONTAMINANTE	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO	
		VULNERABILIDAD MEDIA	VULNERABILIDAD BAJA
Nitrógeno total Kjeldahl	mg/l	10	15
pH	Unidad	6,0 - 8,5	6,0 - 8,5

Tabla 18 - Límite de metales en residuos líquidos para descarga en aguas subterráneas

CONTAMINANTE	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO	
		VULNERABILIDAD MEDIA	VULNERABILIDAD BAJA
Aluminio	mg/l	5	20
Arsénico	mg/l	0,01	0,01
Boro	mg/l	0,75	3
Cadmio	mg/l	0,002	0,002
Cobre	mg/l	1	3
Cromo Hexavalente	mg/l	0,05	0,2
Hierro	mg/l	5	10
Manganeso	mg/l	0,3	2
Mercurio	mg/l	0,001	0,001
Molibdeno	mg/l	1	2,5
Níquel	mg/l	0,2	0,5
Plomo	mg/l	0,05	0,05
Selenio	mg/l	0,01	0,02
Zinc	mg/l	3	20

Contaminantes relevantes

Se destaca del D.S. 46/2002 la regulación de diversos metales, metaloides y cianuro en las descargas de residuos líquidos a aguas subterráneas, estos elementos se han identificado como potenciales contaminantes de suelos en sectores relacionados con actividades mineras, sus procesos y residuos industriales. Se destaca también la regulación de compuestos orgánicos que se pueden relacionar con su uso en procesos industriales.

Interacción con la matriz suelo

Las descargas de residuos líquidos en cuerpos de aguas subterráneas se realizan directamente sobre el suelo mediante un proceso de infiltración. Este procedimiento tiene el potencial de impactar los suelos donde se realizan las descargas para la infiltración, afectando directamente a la matriz de suelo. El contacto del suelo con las aguas enriquecidas con contaminantes puede generar enriquecimiento en estos compuestos, alterando así la calidad de suelos y generando un potencial riesgo químico para la salud de la población.

3.2.1.3 Decreto 80/2006: Norma de emisión para molibdeno y sulfatos de efluentes descargados desde tranques de relaves al estero Caren

El D.S. 80/2006 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia establece los niveles máximos de molibdeno y sulfatos que pueden contener los efluentes descargados desde tranques de relaves hacia el estero Caren, con la finalidad de proteger este recurso hídrico. Los valores normados para ambos contaminantes se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19 - Concentración máxima permitida de contaminantes en efluentes a descargar en el estero Caren

CONTAMINANTE TOTAL	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO DE CONCENTRACIÓN PERMITIDO
Molibdeno	mg/l	1,6
Sulfatos	mg/l	2000

Contaminantes relevantes

Se destaca del D.S. 80/2006 la regulación de molibdeno en las descargas de residuos líquidos originados en tranques de relave del estero Caren. Elemento que se ha identificado como potencial contaminante de suelos en sectores relacionados con actividades mineras, sus procesos y residuos industriales.

Interacción con la matriz suelo

Las descargas de residuos líquidos en el estero Caren tienen el potencial de impactar directamente a la matriz de suelo. El contacto del suelo con las aguas enriquecidas del estero puede generar enriquecimiento en estos contaminantes, alterando así la calidad de suelos y generando un potencial riesgo químico para la salud de la población.

3.3 Normas Chilenas Oficiales

3.3.1 NCh 1333: Requisitos de calidad del agua para diferentes usos

La norma chilena oficial 1333 (declarada norma oficial mediante D.S. 867/1978 del Ministerio de Obras Públicas) establece los requisitos de calidad del agua necesarios de acuerdo a diferentes usos. De esta manera, fija límites máximos para parámetros que se han de cumplir con la finalidad de proteger y preservar la calidad de las aguas.

Los usos del agua definidos en esta norma son:

- Consumo humano
- Bebida animal
- Agua destinada a regadío
- Agua dulce destinada a vida acuática
- Agua destinada a uso recreativo con y sin contacto directo
- Agua destinada a usos estéticos.

En particular, las especificaciones de calidad del agua para consumo humano y bebida animal son referidos a la NCh 409: Norma Calidad de Agua Potable.

3.3.1.1 Requisitos para agua destinada a riego

A continuación, se presentan valores máximos permisibles para elementos químicos en aguas destinadas a riego, destacándose en **negrita** los que dictan relación con contaminación del suelo.

Tabla 20 - Valores máximos permisibles para agua destinada a riego

INDICADOR	UNIDAD	EXPRESIÓN	REQUISITO
pH	Unidad	pH	5,5 - 9,0
Aluminio	mg/l	Al	5,00
Arsénico	mg/l	As	0,10
Bario	mg/l	Ba	4,00
Berilio	mg/l	Be	0,10
Boro	mg/l	Bo	0,75
Cadmio	mg/l	Cd	0,01
Carbaril	µg/l		70,00
Cianuro	mg/l	CN	0,20
Cloruros	mg/l	Cl-	200,00
Cobalto	mg/l	Co	0,05
Cobre	mg/l	Cu	0,20
Cromo (1)	mg/l	Cr	0,10
Fierro	mg/l	Fe	5,00
Fluoruros	mg/l	F-	1,00
Litio	mg/l	Li	2,50
Litio (cítricos)	mg/l	Li	0,075
Manganeso	mg/l	Mn	0,20
Mercurio	mg/l	Hg	0,001
Molibdenu	mg/l	Mo	0,01
Níquel	mg/l	Ni	0,20
Plata	mg/l	Ag	0,20
Plomo	mg/l	Pb	5,00
Selenio	mg/l	Se	0,02
Sodio (2)	%	Na	35,00
Sulfatos	mg/l	SO4--	250,00
Vanadio	mg/l	Vn	0,10
Zinc	mg/l	Zn	2,00
Coliformes Fecales	NMP/100 ml		1000,00

- (1) En aguas de riego destinadas a verduras y frutas que se desarrollan a ras del suelo y que habitualmente se consumen en estado crudo.
- (2) El sodio porcentual es la relación entre la concentración del ión sodio y la suma de las concentraciones de los iones sodio, calcio, magnesio y potasio expresadas en miliequivalentes por litro, de acuerdo a la expresión siguiente: $Na\% = (Na/(Na+Ca+Mg+K)) \times 100$

Adicionalmente, esta normativa establece una clasificación de aguas para riego de acuerdo a sus condiciones de salinidad, en base a las características de conductividad específica y concentración de sólidos disueltos totales, sin embargo, esto no se estima relevante para contaminación de suelos.

Contaminantes relevantes

Se destaca de la NCh 1333 la regulación de metales, metaloides y cianuro en aguas destinadas a riego. Estos elementos se han identificado como potenciales contaminantes de suelos en sectores relacionados con actividades mineras, sus procesos y residuos industriales. Por último, se destaca también la regulación de coliformes fecales atribuibles a aguas servidas u otros desechos.

Interacción con la matriz suelo

Las aguas destinadas a riego tienen el potencial de impactar los suelos donde son utilizadas afectando directamente a la matriz de suelo. El contacto del suelo con las aguas enriquecidas con contaminantes puede generar enriquecimiento en estos compuestos, alterando así la calidad de suelos y generando un potencial riesgo químico o biológico para la salud de la población.

3.3.1.2 Requisitos para agua destinada a vida acuática

A continuación, se presentan los valores máximos permisibles de distintos parámetros para aguas dulces destinadas a vida acuática, destacándose en **negrita** los relevantes para la contaminación de suelos.

Tabla 21 - Valores máximos permisibles para agua destinada a vida acuática

INDICADOR	UNIDAD	EXPRESIÓN	REQUISITO
pH	Unidad	pH	6,0 - 9,0
Alcalinidad total (CaCO ₃)	mg/l	Al	> 20,00
Color			ausente
Oxígeno disuelto	mg/l	O ₂ (disuelto)	> 5,00
Petróleo e hidrocarburos			(1)
Sólidos flotantes visibles y espumas no naturales			ausentes
Sólidos sedimentables			< V.N.
Temperatura en flujo de agua corriente	grados	°C	V.N. + 3
Turbiedad debido a descargas	Unidad de Escala Sílice		V.N. + 30

Nota: V.N.: Valor natural

(1) No debe haber: olor perceptible, detección visual o cubrimiento de fondo ni orilla de agua.

Contaminantes relevantes

Se destaca de la NCh 1333 la regulación de petróleo e hidrocarburos en aguas dulces destinadas a vida acuática, compuestos relacionados a actividades de almacenamiento y uso de combustibles en faenas industriales y otros similares.

Interacción con la matriz suelo

Las aguas dulces destinadas para la vida acuática pueden interactuar con el suelo mediante contacto directo. Estas aguas enriquecidas con contaminantes pueden generar enriquecimiento en estos compuestos, alterando así la calidad de suelos y generando un potencial riesgo químico para la salud de la población.

3.3.2 NCh 409/1: Norma calidad del agua potable

- La norma chilena oficial 409/1 (declarada norma oficial mediante Decreto Exento 446/2006 del Ministerio de Salud) establece los requisitos de calidad del agua que aseguran su aptitud para consumo humano y debe ser cumplida en todo el territorio nacional. Los requisitos de calidad definidos en esta norma se encuentran agrupados en las siguientes categorías:
 - Tipo I Parámetros microbiológicos y de turbiedad
 - Tipo II Elementos o sustancias químicas de importancia para la salud
 - Tipo III Elementos radiactivos
 - Tipo IV Parámetros relativos a las características organolépticas
 - Tipo V Parámetros de desinfección
- De las categorías anteriores, las de tipo I, IV y V no se consideran relevantes para el estudio de contaminación de suelos, por lo que solo serán analizadas las de tipo II y III. A continuación, se presentan los límites máximos para distintos parámetros, destacándose en **negrita** los de mayor relevancia en contaminación de suelos.

3.3.2.1 Criterios para elementos o sustancias químicas de importancia para la salud (Tipo II)

Tabla 22 - Contenido máximo de elementos esenciales

ELEMENTO	EXPRESADO COMO ELEMENTOS TOTALES	LÍMITE MÁXIMO mg/l
Cobre	Cu	2,0
Cromo	Cr	0,05
Fluoruro	F-	1,5
Hierro	Fe	0,3
Manganeso	Mn	0,1
Magnesio	Mg	125
Selenio	Se	0,01
Zinc	Zn	3,0

Tabla 23 - Contenido máximo de elementos o sustancias no esenciales

ELEMENTO	EXPRESADO COMO ELEMENTOS TOTALES	LÍMITE MÁXIMO mg/l
Arsénico	As	0,01
Cadmio	Cd	0,01
Cianuro	CN-	0,05
Mercurio	Hg	0,001
Nitrato	NO ₃ -	50
Nitrito	NO ₂ -	3
Razón nitrato + nitrito	(1)	1
Plomo	Pb	0,05

(1) Suma de las razones entre la concentración medida de cada uno y su respectivo límite máximo.

Tabla 24 - Contenido máximo de sustancias orgánicas

SUSTANCIA	LÍMITE MÁXIMO µg/l
Tetracloroetano	40
Benceno	10
Tolueno	700
Xilenos	500

Tabla 25 - Contenido máximo de plaguicidas

PLAGUICIDA	LÍMITE MÁXIMO µg/l
DDT + DDD + DDE	2
2,4 - D	30
Lindano	2
Metoxicloro	20
Pentaclorofenol	9

Tabla 26 - Contenido máximo de productos secundarios de la desinfección

PRODUCTO	LÍMITE MÁXIMO mg/l
Monocloroamina	3
Dibromoclorometano	0,1
Bromodiclorometano	0,06
Tribromometano	0,1
Triclorometano	0,2
Trihalometanos	1 (1)

- (1) Suma de las razones entre la concentración medida de cada uno y su respectivo límite máximo.

3.3.2.2 Criterios para elementos radiactivos (Tipo III)

Tabla 27 - Límites máximos para elementos radiactivos

ELEMENTO	LÍMITE MÁXIMO Bq/l
Estroncio 90	0,37
Radio 226	0,11
Actividad base total (excluyendo Sr-90, Ra-226 y otros emisores alfa)	37
Actividad beta total (incluyendo Sr-90, corregida para el K-40 y otros radioemisores naturales)	1,9
Actividad alfa total (incluyendo Ra-226 y otros emisores alfa)	0,55

Contaminantes relevantes

Se destaca de la NCh 409/1 la regulación de diversos elementos radiactivos, metales, metaloides y cianuro en el agua potable, estos elementos se han identificado como potenciales contaminantes de suelos en sectores relacionados con actividades mineras, sus procesos y residuos industriales. Se destaca también la

regulación de compuestos orgánicos que se pueden relacionar con su uso en procesos industriales, ya sean en agricultura, desinfección u otros.

Interacción con la matriz suelo

A pesar de que el agua potable es principalmente destinada al consumo humano, también es utilizada para riego de áreas verdes, usos recreativos, usos industriales, entre otros. De esta manera, los contaminantes presentes en el agua potable tienen el potencial de entrar en contacto con la matriz de suelo y enriquecerla, alterando así la calidad de suelos y generando un potencial riesgo químico para la salud de la población.

3.4 Otras normativas atinentes

3.4.1 Decreto 148/2003: Reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos

El D.S. 148/2003 del Ministerio de Salud establece las condiciones sanitarias y de seguridad mínimas que deben existir en todo el ciclo de los residuos peligrosos, desde su generación hasta su disposición final. En general, un residuo peligroso es aquel que presenta un riesgo para la salud y/o el medio ambiente y debe poseer al menos una de las siguientes características:

- Toxicidad aguda
- Toxicidad crónica
- Toxicidad extrínseca
- Inflamabilidad
- Reactividad
- Corrosividad

En particular, este reglamento establece límites máximos de contaminantes cuando el residuo tenga la característica de toxicidad extrínseca, es decir, cuando su eliminación pueda dar origen a una o más sustancias tóxicas agudas o crónicas. Los valores normados en la Tabla 28 aplican cuando la disposición final del residuo es en el suelo y se realiza un Test de Toxicidad por Lixiviación.

Tabla 28 - Niveles máximos permitidos en lixiviados de residuos sólidos peligrosos

SUSTANCIA	CONCENTRACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE (mg/l)
Arsénico	5
Cromo	5
Mercurio	0,2
Plomo	5
Selenio	1
Bario	100
Benceno	0,5
Cadmio	1
Tetracloruro de carbono	0,5
Clordano	0,03
Clorobenceno	100
Cloroformo	6
o-cresol (1)	200
m-cresol (1)	200

SUSTANCIA	CONCENTRACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE (mg/l)
p-cresol (1)	200
Cresol (1)	200
2,4 D	10
1,4 Diclorobenceno	7,5
1,2 Dicloroetano	0,5
1,1 Dicloroetileno	0,7
2,4 Dinitrotolueno	0,13
Endrin	0,02
Heptacloro	0
Hexaclorobenceno	0,13
Hexacloro-1,3-butadieno	0,5
Hexacloroetano	3
Lindano	0,4
Metoxicloro	10
Metiletilcetona	200
Nitrobenceno	2
Pentaclorofenol	100
Piridina	5
Plata	5
Tetracloroetileno	0,7
Toxafeno	0,5
Tricloroetileno	0,5
2,4,5-Triclorofenol	400
2,4,6-Triclorofenol	2
2,4,6-TP (silvex)	1
Cloruro de vinilo	0,2

Contaminantes relevantes

Se destaca del D.S. 148/2003 la regulación de diversas sustancias, tanto orgánicas como inorgánicas, que bajo un contexto de lixiviación son considerados riesgosos para la salud o el medio ambiente. Se destacan algunos elementos como metales y metaloides, estos elementos se han identificado como potenciales contaminantes de suelos en sectores relacionados con actividades mineras, sus procesos y residuos industriales. Se destaca también la regulación de compuestos orgánicos que se pueden relacionar con su uso en procesos industriales, ya sean en agricultura, desinfección u otros.

Interacción con la matriz suelo

La disposición inadecuada de residuos sólidos peligrosos puede generar procesos de lixiviación de diversos contaminantes, estos pueden enriquecer los suelos aledaños mediante infiltración y escorrentía. La situación descrita es potencialmente una forma de contaminación de la matriz de suelo, que altera la calidad química y generando un potencial riesgo para la salud de la población.

3.4.2 Decreto 4/2009: Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas

El D.S. 4/2009 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia aprueba el reglamento para el manejo de lodos, mediante el cual se establece la clasificación sanitaria de los lodos y las exigencias mínimas para su manejo. En los artículos 21 y 22 de este reglamento se establecen los criterios para la aplicación de lodos en suelos, donde además se incluyen concentraciones máximas para algunos metales que puede tener el suelo receptor previo a la aplicación de lodos. Dichos valores se presentan a continuación en la Tabla 29.

Tabla 29 - Concentraciones máximas de metales en suelo receptor

METAL	CONCENTRACIÓN MÁXIMA EN mg/kg suelo (EN BASE MATERIA SECA)		
	Macrozona norte		Macrozona sur
	pH > 6,5	pH ≤ 6,5	pH > 5
Arsénico	20	12,5	10
Cadmio	2	1,25	2
Cobre	150	100	75
Mercurio	1,5	1	1
Níquel	112	50	30
Plomo	75	50	50
Selenio	4	3	4
Zinc	175	120	175

Por otro lado, en el artículo 24 se determinan las concentraciones máximas de metales que pueden tener los lodos que se podrán aplicar a suelos. Los valores se encuentran en la Tabla 30.

Tabla 30 - Concentraciones máximas de metales en lodos para aplicación al suelo

METAL	CONCENTRACIÓN MÁXIMA EN mg/kg Solidos totales (EN BASE MATERIA SECA)	
	Suelos que cumplen los requisitos establecidos en este titulo	Suelos degradados que cumple los requisitos establecidos en este titulo
Arsénico	20	40
Cadmio	8	40
Cobre	1000	1200
Mercurio	10	20
Níquel	80	420
Plomo	300	400
Selenio	50	100
Zinc	2000	2800

Contaminantes relevantes

Se destaca del D.S. 4/2009 que todos los metales y metaloides normados son relevantes para la matriz de suelo. Algunos de estos elementos se han identificado como potenciales contaminantes de suelos en sectores relacionados con actividades mineras, sus procesos y residuos industriales.

Interacción con la matriz suelo

La disposición inadecuada de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas puede generar procesos enriquecimiento de contaminantes en los suelos aledaños mediante infiltración o disposición de

lodos sobre el suelo. Las situaciones descritas son potencialmente formas de contaminación de la matriz de suelo, que alteran la calidad química y generan un potencial riesgo para la salud de la población.

3.4.3 Resolución Exenta 297/2015: Aprueba el nivel de riesgo aceptable de protección humana, para los contaminantes de interés en la comuna de Arica por la presencia de polimetales en la matriz suelo

La Res. Ex. 297/2015 del Ministerio del Medio Ambiente establece como contaminante de interés en la matriz suelo de Arica al metaloide arsénico y determina el nivel máximo permisible según lo indicado en la Tabla 31.

Tabla 31 - Concentración máxima permisible de arsénico en la matriz suelo de Arica

CONTAMINANTE	CONCENTRACIÓN (mg/kg)
Arsénico	29

Contaminantes relevantes

Se destaca de la Res. Ex. 297/2015 que la regulación de arsénico se torna relevante para la matriz de suelo. Este elemento se ha identificado como un potencial contaminante de suelos en sectores relacionados con actividades mineras, sus procesos y residuos industriales.

Interacción con la matriz suelo

Las concentraciones de arsénico para la matriz suelo en Arica se encuentra normada directamente por esta Res. Ex. 297/2015.

3.5 Análisis

La revisión de 63 instrumentos normativos nacionales en temáticas de medio ambiente dio como resultado que solo dos de ellas regulan concentraciones de contaminantes directamente en el suelo. Estas dos regulaciones corresponden a la “Resolución Exenta 297/2015 - Aprueba el nivel de riesgo aceptable de protección humana, para los contaminantes de interés en la comuna de Arica por la presencia de polimetales en la matriz suelo” y el “Decreto 4/2009 - Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas”. En conjunto ambas normativas regulan 8 concentraciones de elementos en la matriz de suelo correspondientes a arsénico, cadmio, cromo, mercurio, níquel, plomo, selenio y zinc.

En base a las regulaciones que realiza cada instrumento normativo se descartaron normas que no son atingentes a la matriz de suelo, por ejemplo, las normas de emisión referentes a aire que regulan emisiones de actividades contaminantes específicas. De esta manera, un total de 19 instrumentos normativos fueron seleccionados como relevantes para la matriz de suelo, siendo la mayor parte normas regulatorias de aguas. En la Tabla 32 se presentan 17 de las normas seleccionadas, donde se indica los contaminantes relevantes, las normas y las indicaciones de las sustancias que regulan. A modo general, es posible observar que las sustancias que se regulan en las diversas normas corresponden mayoritariamente a metales y metaloides.

En la tabla se indica con un “Si” los elementos normados y en el Anexo 2 se encuentra la tabla en formato Excel.

Tabla 32 - Contaminantes relevantes para la matriz suelo presentes en distintas normas chilenas

Contaminante	Suelo			Agua												Aire				
	D.S. 148/2003	D.S. 4/2009	Res. Ex. 297/2015	NCh 1333: Riego	NCh 1333: Vrida Acuática	NCh 409	D.S. 144/2008	D.S. 143/2008	D.S. 1/2015 (derogado)	D.S. 53/2013	D.S. 9/2015	D.S. 75/2009	D.S. 80/2006	D.S. 46/2002	D.S. 90/2000	D.S. 22/2009	D.S. 4/1992	D.S. 114/2002	D.S. 104/2018	D.S. 136/2000
Aluminio	-	-	-	Si	-	-	-	-	Si	-	Si	Si	-	Si	Si	-	-	-	-	-
Arsénico	Si	Si	Si	Si	-	Si	Si	Si	-	-	-	-	-	Si	Si	-	-	-	-	-
Bario	Si	-	-	Si	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Berilio	-	-	-	Si	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Boro	-	-	-	Si	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Si	Si	-	-	-	-	-
Cadmio	Si	Si	-	Si	-	Si	Si	Si	-	-	-	Si	-	Si	Si	-	-	-	-	-
Cobalto	-	-	-	Si	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cobre	-	Si	-	Si	-	Si	-	-	Si	-	-	Si	-	Si	Si	-	-	-	-	-
Cromo	Si	-	-	Si	-	Si	Si	Si	Si	Si	-	Si	-	Si	Si	-	-	-	-	-
Hierro	-	-	-	Si	-	Si	-	-	Si	-	Si	Si	-	Si	Si	-	Si	-	-	-
Estaño	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Si	-	-	-	-	-
Litio	-	-	-	Si	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Litio (cítricos)	-	-	-	Si	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Magnesio	-	-	-	-	-	Si	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Manganeso	-	-	-	Si	-	Si	-	-	Si	-	-	Si	-	Si	Si	-	-	-	-	-
Mercurio	Si	Si	-	Si	-	Si	Si	Si	-	-	-	Si	-	Si	Si	-	-	-	-	-
Molibdeno	-	-	-	Si	-	-	-	-	-	-	-	Si	Si	Si	Si	-	-	-	-	-
Níquel	-	Si	-	Si	-	-	-	-	-	Si	-	Si	-	Si	Si	-	-	-	-	-
Plata	Si	-	-	Si	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Plomo	Si	Si	-	Si	-	Si	Si	Si	-	Si	-	Si	-	Si	Si	-	-	-	-	Si
Selenio	Si	Si	-	Si	-	Si	-	-	-	-	-	Si	-	Si	Si	-	-	-	-	-
Sodio	-	-	-	Si	-	-	-	-	Si	-	-	Si	-	-	-	-	-	-	-	-
Vanadio	-	-	-	Si	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zinc	-	Si	-	Si	-	Si	-	-	Si	Si	-	Si	-	Si	Si	-	-	-	-	-
Petróleo e Hidrocarburos	-	-	-	-	Si	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Si	-	-	-	-	-
Aceites y Grasas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Si	Si	-	-	-	-	-
Elementos radiactivos	-	-	-	-	-	Si	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Compuestos organoclorados	Si	-	-	-	-	-	-	Si	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Plaguicidas organoclorados	Si	-	-	-	-	Si	-	Si	-	-	-	-	-	Si	Si	-	-	-	-	-

	D.S. 148/2003	D.S. 4/2009	Res. Ex. 297/2015	NCh 1333: Riego	NCh 1333: Vida Acuática	NCh 409	D.S. 144/2008	D.S. 143/2008	D.S. 1/2015 (derogado)	D.S. 53/2013	D.S. 9/2015	D.S. 75/2009	D.S. 80/2006	D.S. 46/2002	D.S. 90/2000	D.S. 22/2009	D.S. 4/1992	D.S. 114/2002	D.S. 104/2018	D.S. 136/2000	
Contaminante	Suelo			Agua												Aire					
Plaguicidas no organoclorados	-	-	-	Si	-	-	-	Si	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Compuestos orgánicos halogenados	-	-	-	-	-	-	-	Si	Si	-	Si	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BTEX (1)	Si	-	-	-	-	Si	-	-	-	-	-	-	-	Si	Si	-	-	-	-	-	-
PAH (2)	-	-	-	-	-	-	-	Si	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
THM (3)	-	-	-	-	-	Si	-	-	-	-	-	-	-	Si	Si	-	-	-	-	-	-
Compuestos orgánicos no halogenados	Si	-	-	-	-	Si	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sustancias Lluvia ácida	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Si	-	Si	Si	-	-
Aniones	-	-	-	Si	-	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	-	-	-	-	-	-
Nutrientes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Si	-	-	Si	Si	-	-	-	-	-	-
Otros parámetros	-	-	-	Si	Si	-	Si	Si	Si	Si	Si	Si	-	Si	Si	-	-	-	-	-	-

- (1) Corresponde a las sustancias benceno, tolueno, etilbenceno y xileno.
- (2) Hidrocarburos aromáticos policíclicos
- (3) Trihalometanos

4 Actividad 3.3 Analizar y detallar efectos a la salud de los contaminantes de interés estudiados, poniendo énfasis en la cobertura normativa existente y a los potenciales efectos a la salud humana en rutas de exposición por matrices ambientales

4.1 Contaminantes a normar

Para el análisis de contaminantes a normar se consideró la información recopilada en actividades anteriores, específicamente:

- Capítulo 2, Actividad 2.2 Identificación de los países con norma de suelo a analizar y los contaminantes normados
- Capítulo 3, Actividad 3.1 Revisión y análisis de eventos de contaminación de suelo
- Capítulo 3, Actividad 3.2 Identificación de normativa nacional existente para contaminantes en otras matrices

Adicionalmente, de manera de complementar el análisis se realizó una revisión de contaminantes listados como relevantes por organismos internacionales y en convenios internacionales en materia ambiental suscritos por Chile. Finalmente, como una manera de profundizar en los aspectos recopilados en la Actividad 3.1, se revisó la información de EnSoil (2021) correspondiente a investigaciones de contaminación de suelos efectuadas en Chile.

En cuanto a la metodología para la elección de los contaminantes, se tomó como punto de partida una revisión de los contaminantes listados por normas internacionales y luego discriminación de acuerdo a su relevancia en cuanto a los factores anteriormente mencionados. Adicionalmente, se buscó también el feedback de profesionales especialistas en el área para la elección de los contaminantes propuestos para normar.

Es importante notar que en consideración de la ausencia de normativa para suelos en Chile lo que se busca es establecer los contaminantes prioritarios para normar y no proveer una lista de cada uno de los contaminantes existentes en las normativas revisadas.

Como ejemplo de lo anterior, la lista de los contaminantes normados por la USEPA se extiende a 846 compuestos y elementos para los cuales se han establecido valores de referencia, siendo la más extensa de las normativas contempladas en este estudio. Sería quizás tentador establecer todos estos contaminantes como prioritarios para normar en Chile, sin embargo, no sería en la práctica algo útil y al no haber prioridad podría tenderse a sobre o sub analizar, perdiéndose recursos en el primer caso o fallando en identificar contaminantes relevantes para un sitio en el segundo. Cabe notar que los análisis son usualmente el componente más costoso de una investigación de suelos, por lo que optimizar su elección es siempre recomendable.

Es así como la priorización y elección de contaminantes tiene por objetivo ser un punto de partida y ser una guía en cuanto a aquellos más relevantes en cuanto a ubicuidad y toxicidad tanto internacionalmente como en Chile. En este sentido, queda abierta la posibilidad de ir incorporando más según avance la ciencia y los estudios específicos locales.

4.1.1 Relevancia dada por organismos internacionales y en convenios ambientales suscritos por Chile

Se consideró para esta revisión principalmente tres fuentes: contaminantes considerados prioritarios por la USEPA, contaminantes relevantes para la salud indicados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), y contaminantes indicados en convenios internacionales suscritos por Chile. Cabe notar que los contaminantes listados por estas fuentes son independientes de la matriz en la que se encuentren, vale decir, pueden o no tener relevancia para la matriz suelo.

Contaminantes listados como prioritarios por la USEPA

Se consideró para esta revisión la *Priority Pollutant List*⁹ de la USEPA, que contiene 126 contaminantes prioritarios, los cuales son regulados y para los cuales existen métodos analíticos definidos. Estos se presentan en la Tabla 33 (notar que las posiciones 17, 49 y 50 han sido removidas).

Tabla 33 - *Priority Pollutant List* de la USEPA

USEPA Priority Pollutant List		
1. Acenaphthene	44. Methylene chloride	87. Trichloroethylene
2. Acrolein	45. Methyl chloride	88. Vinyl chloride
3. Acrylonitrile	46. Methyl bromide	89. Aldrin
4. Benzene	47. Bromoform	90. Dieldrin
5. Benzidine	48. Dichlorobromomethane	91. Chlordane
6. Carbon tetrachloride	49. (Removed)	92. 4,4-DDT
7. Chlorobenzene	50. (Removed)	93. 4,4-DDE
8. 1,2,4-trichlorobenzene	51. Chlorodibromomethane	94. 4,4-DDD
9. Hexachlorobenzene	52. Hexachlorobutadiene	95. Alpha-endosulfan
10. 1,2-dichloroethane	53. Hexachlorocyclopentadiene	96. Beta-endosulfan
11. 1,1,1-trichloroethane	54. Isophorone	97. Endosulfan sulfate
12. Hexachloroethane	55. Naphthalene	98. Endrin
13. 1,1-dichloroethane	56. Nitrobenzene	99. Endrin aldehyde
14. 1,1,2-trichloroethane	57. 2-nitrophenol	100. Heptachlor
15. 1,1,2,2-tetrachloroethane	58. 4-nitrophenol	101. Heptachlor epoxide
16. Chloroethane	59. 2,4-dinitrophenol	102. Alpha-BHC
17. (Removed)	60. 4,6-dinitro-o-cresol	103. Beta-BHC
18. Bis(2-chloroethyl) ether	61. N-nitrosodimethylamine	104. Gamma-BHC
19. 2-chloroethyl vinyl ethers	62. N-nitrosodiphenylamine	105. Delta-BHC
20. 2-chloronaphthalene	63. N-nitrosodi-n-propylamine	106. PCB-1242 (Arochlor 1242)
21. 2,4,6-trichlorophenol	64. Pentachlorophenol	107. PCB-1254 (Arochlor 1254)
22. Parachlorometa cresol	65. Phenol	108. PCB-1221 (Arochlor 1221)
23. Chloroform	66. Bis(2-ethylhexyl) phthalate	109. PCB-1232 (Arochlor 1232)
24. 2-chlorophenol	67. Butyl benzyl phthalate	110. PCB-1248 (Arochlor 1248)
25. 1,2-dichlorobenzene	68. Di-N-Butyl Phthalate	111. PCB-1260 (Arochlor 1260)

⁹ Disponible en: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/priority-pollutant-list-epa.pdf>

USEPA Priority Pollutant List		
26. 1,3-dichlorobenzene	69. Di-n-octyl phthalate	112. PCB-1016 (Arochlor 1016)
27. 1,4-dichlorobenzene	70. Diethyl Phthalate	113. Toxaphene
28. 3,3-dichlorobenzidine	71. Dimethyl phthalate	114. Antimony
29. 1,1-dichloroethylene	72. Benzo(a) anthracene	115. Arsenic
30. 1,2-trans-dichloroethylene	73. Benzo(a) pyrene	116. Asbestos
31. 2,4-dichlorophenol	74. Benzo(b) fluoranthene	117. Beryllium
32. 1,2-dichloropropane	75. Benzo(k) fluoranthene	118. Cadmium
33. 1,3-dichloropropylene	76. Chrysene	119. Chromium
34. 2,4-dimethylphenol	77. Acenaphthylene	120. Copper
35. 2,4-dinitrotoluene	78. Anthracene	121. Cyanide, Total
36. 2,6-dinitrotoluene	79. Benzo(ghi) perylene	122. Lead
37. 1,2-diphenylhydrazine	80. Fluorene	123. Mercury
38. Ethylbenzene	81. Phenanthrene	124. Nickel
39. Fluoranthene	82. Dibenzo (h) anthracene	125. Selenium
40. 4-chlorophenyl phenyl ether	83. Indeno (1,2,3-cd) pyrene	126. Silver
41. 4-bromophenyl phenyl ether	84. Pyrene	127. Thallium
42. Bis(2-chloroisopropyl) ether	85. Tetrachloroethylene	128. Zinc
43. Bis(2-chloroethoxy) methane	86. Toluene	129. 2,3,7,8-TCDD

Fuente: USEPA Priority Pollutants

Contaminantes listados por la Organización Mundial de la Salud

La Organización Mundial de la Salud, en su “Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas” lista las “diez sustancias químicas que constituyen una preocupación para la salud pública”¹⁰. Estas corresponden a:

- Asbestos
- Arsénico
- Benceno
- Cadmio
- Dioxinas y sustancias similares (ej. PCBs)
- Exceso o deficiencia de flúor
- Mercurio
- Plaguicidas altamente peligrosos¹¹
- Plomo
- Contaminación del aire

¹⁰ Disponible en: https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/chemicals_phc/es/

¹¹ Clasificación OMS de los plaguicidas: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44271#sthash.JuKBNXab.dpuf>

Convenios internacionales

Chile ha suscrito una variedad de convenios internacionales ambientales, sin embargo, solo los convenios de Basilea, Rotterdam, Estocolmo y Minamata se refieren a materias de contaminación de suelo y fueron considerados relevantes.

EnSoil (2021) ha desarrollado una revisión de estos convenios, la que se resume en la Tabla 34. Adicionalmente se indican los contaminantes específicos listados por cada convenio.

Tabla 34 - Objetivos de convenios internacionales más importantes insumo para consultoría

Nombre de la Norma Tratado o convenio	Objetivo	Vinculación o referencia a recurso suelo	Contaminantes específicos listados
<p>Convenio de Minamata sobre el Mercurio (2017)</p> <p>PNUMA</p> <p>Implementado mediante Decreto N°268/2018</p>	<p>El objetivo del convenio es proteger la salud humana y el medio ambiente de las emisiones y liberaciones antropógenos de mercurio y compuestos de mercurio.</p>	<p>De manera genérica se refiere a evitar o cuando no es factible reducir las emisiones y liberaciones de mercurio a la atmósfera, al agua y al suelo, y los efectos de esas emisiones y liberaciones para el medio ambiente en su conjunto. No es específico sobre recurso suelo.</p>	<p>Mercurio y compuestos de mercurio</p>
<p>Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) (1998)</p> <p>PNUMA</p> <p>Programa de las naciones Unidas para el Medio Ambiente</p> <p>Implementado mediante Decreto N°38/2005</p>	<p>Teniendo presente el criterio de precaución consagrado en el principio 15 de la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, el objetivo del presente Convenio es proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los contaminantes orgánicos persistentes</p>	<p>Todos los químicos del Convenio de Estocolmo son prohibidos por su toxicidad inmediata o crónica y su peligro al medio ambiente, salud humana, flora y fauna. Chile al ratificarlo se comprometió a definir medidas para reducir y/o eliminar las emisiones derivadas de la producción y el uso de estas sustancias.</p>	<p>Eliminación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aldrin - Alfa hexaclorociclohexano - Beta hexaclorociclohexano - Clordano - Clordecona - Dieldrin - Endrin - Heptaclor - Hexabromobifenilo - Éter de hexabromodifenilo - Éter de heptabromodifenilo - Hexaclorobenceno - Lindano - Mirex - Pentaclorobenceno - Bifenilos policlorados (PCBs) - Éter tetrabromodifenilo y éter pentabromodifenilo - Toxafeno

Nombre de la Norma Tratado o convenio	Objetivo	Vinculación o referencia a recurso suelo	Contaminantes específicos listados
			<p>Restricción:</p> <ul style="list-style-type: none"> - DDT - Ácido sulfónico perfluorooctano, sus sales y fluoruro sulfonilo perfluorooctano <p>Producción no intencional:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hexaclorobenceno - Pentaclorobenceno - Bifenilos policlorados - Dioxinas dibenzo-p-policloradas y dibenzofuranos (PCDD/PCDF)
<p>Convenio de Rotterdam (2004)</p> <p>FAO PNUMA</p> <p>Implementado mediante Decreto N°37/2005.</p>	<p>Promover la responsabilidad compartida y los esfuerzos conjuntos de las Partes en la esfera del comercio internacional de ciertos productos químicos peligrosos a fin de proteger la salud humana y el medio ambiente frente a posibles daños y contribuir a su utilización ambientalmente racional, facilitando el intercambio de información acerca de sus características, estableciendo un proceso nacional de adopción de decisiones sobre su importación y exportación y difundiendo esas decisiones a las Partes</p>	<p>Es aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional, fomentando el intercambio de información sobre las sustancias que hay en el mercado, sobre el riesgo a la salud y el medio ambiente, aunque no es específico sobre recurso suelo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 2,4,5-T y sus sales y esteres - Alaclor - Aldicarb - Aldrina - Azinfos-metilo - Binapacril - Captafol - Carbofurano - Clordano - Clordimeformo - Clorobencilato - DDT - Dieldrina - Dinitro-ortho-crésol (DNOC) y sus sales - Dinoseb y sus sales y esteres - 1,2-dibromoetano (EDB) - Endosulfán - Dicloruro de etileno - Óxido de etileno - Fluoroacetamida - HCH (mezcla de isómeros) - Heptacloro - Hexaclorobenceno - Lindano - Compuestos de mercurio - Metamidofos - Monocrotofos - Paratión - Pentaclorofenol y sus sales y esteres - Forato

Nombre de la Norma Tratado o convenio	Objetivo	Vinculación o referencia a recurso suelo	Contaminantes específicos listados
			<ul style="list-style-type: none"> - Toxafeno - Triclorfón - Benomil al 7% o superior, - Carbofurano al 10% o superior, y Tiram al 15% o superior - Fosfamidón - Metil-paratión - Asbestos
<p>Convenio de Basilea (1989)</p> <p>PNUMA</p> <p>Implementado mediante Decreto Supremo N° 685/1992</p>	<p>Establecer un régimen global de responsabilidad e indemnización pronta y adecuada por daños resultantes de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y otros desechos y su eliminación, incluido el tráfico ilícito de esos desechos, e impide que Chile exporte residuos a países que no tengan las capacidades tecnológicas para su tratamiento y disposición final.</p>	<p>En sus anexos enumera y caracteriza como peligrosos diversos desechos que pudieren contener metales, no metales, constituyentes de materiales orgánicos e inorgánicos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Metales carbonilos - Berilio, compuestos de berilio - Compuestos de cromo hexavalente - Compuestos de cobre - Compuestos de zinc - Arsénico, compuestos de arsénico - Selenio, compuestos de selenio - Cadmio, compuestos de cadmio - Antimonio, compuestos de antimonio - Telurio, compuestos de telurio - Mercurio, compuestos de mercurio - Talio, compuestos de talio - Plomo, compuestos de plomo - Compuestos inorgánicos de flúor, - Cianuros inorgánicos - Soluciones ácidas o ácidos en forma sólida - Soluciones básicas o bases en forma sólida - Asbesto (polvo y fibras) - Compuestos orgánicos de fósforo

Fuente: Elaboración propia basado en EnSoil (2021)

4.1.2 Relevancia de los contaminantes en Chile

Se realizó una revisión de los contaminantes considerados por la normativa en Chile para otras matrices ambientales (agua, aire, suelo). Esta información también se tomará en cuenta para la determinación de contaminantes a normar.

Adicionalmente se revisó la Encuesta Nacional de Salud 2016-2017 del MINSAL¹² donde se encontró que de los cuatro metales medidos en sangre (arsénico, cadmio, mercurio y plomo) para las más de 3500 muestras, solo se encontró valores excedidos de riesgo para arsénico (en 351 de las 3559 muestras tomadas).

En cuanto a las investigaciones de sitios contaminados realizadas en Chile se consideró la revisión que está siendo realizada por EnSoil (2021) para el proyecto “Elaboración de lineamientos estratégicos con miras al desarrollo de instrumentos normativos y de gestión de suelos” para el MMA. Para este proyecto se han revisado 30 estudios comisionados por el MMA, en los cuales se identificaron principalmente metales y metaloides (usualmente As, Cr, Cu, Pb y Zn), cianuro, y también algunas especies orgánicas como se muestra la Tabla 35 abajo.

Tabla 35 - Contaminantes de interés abordados por los estudios

Contaminante de interés	Número de estudios en que fue incluido
Metales y metaloides	30
Hidrocarburos de petróleo totales (TPH)	7
Hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAH)	1
Compuestos orgánicos volátiles y semi volátiles (COVs/SCOVs)	1
BTEX	1
Fenoles	2
Compuestos orgánicos halogenados (AOX)	2
Cianuro	6
Sales inorgánicas	1
Agroquímicos	1
Contaminantes orgánicos persistentes (COPs)	2
Azufre	2
Cromo hexavalente	1

Adicionalmente, EnSoil (2021) ha revisado 26 estudios comisionados por fuentes diversas tales como SERVIU, Sernageomin, municipalidades, y estudios ingresados al sistema de evaluación ambiental ya sea como DIA o EIA. En esta revisión se ha encontrado también prevalencia de contaminantes de tipo metales y metaloides y en segundo lugar, contaminación ligada a hidrocarburos (combustibles principalmente).

4.1.3 Metodología de selección de contaminantes

Para realizar la selección de contaminantes relevantes para normar se consolidaron en una matriz todos los contaminantes listados por las legislaciones de los países revisados en capítulos anteriores. Estos corresponden a: Alemania, Australia, Brasil, Canadá, España (Nivel Federal además de Comunidades de País Vasco y Andalucía), México, Estados Unidos, Países Bajos e Italia. Dado lo extenso de la lista de Estados

¹² Disponible en: https://www.minsal.cl/wp-content/uploads/2017/11/ENS-2016-17_PRIMEROS-RESULTADOS.pdf

Unidos (846 contaminantes), solo se tabularon aquellos que aparecían adicionalmente en alguna otra normativa.

Cabe notar que si bien solo algunos países revisados poseen normativa de gestión de suelos/sitios contaminados a nivel local (ej. Australia, Estados Unidos), en cuanto a los valores de referencia estos están definidos a nivel de país en la mayoría de los casos. Las excepciones son

- Canadá: niveles de referencia específicos definidos para la Provincia de British Columbia
- Brasil: Niveles de referencia específicos definidos para el Estado de Sao Paulo
- España: Algunos niveles de referencia a nivel federal, pero también específicos para algunos contaminantes para las comunidades (en este caso País Vasco y Andalucía)

Se estableció luego como criterio inicial, que un contaminante era relevante si aparecía listado en cuatro o más de las normativas revisadas (40% de frecuencia), lo que dio un total de 71 contaminantes. Posteriormente, para facilitar el análisis se separaron los analitos en siete grupos de contaminantes, correspondientes a:

- Metales y metaloides: Los cuales incluyen tanto a su forma elemental, como a las formas complejas de estos encontradas en la naturaleza (ej. fosfatos, óxidos, carbonatos).
- BTEXN: Se refiere a los compuestos orgánicos benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos y naftaleno
- TPH: Hidrocarburos totales de petróleo, los que usualmente se separan en fracciones compuestas por el número de carbonos que poseen (ej. TPH C₆-C₉ indica todos los hidrocarburos con 6 a 9 átomos de carbono en su formulación).
- Compuestos organoclorados: Compuestos orgánicos con al menos un enlace covalente con un átomo de cloro. En este grupo se encuentran muchos solventes y precursores de otros productos químicos.
- Pesticidas organoclorados: Derivados de los anteriores, corresponden a pesticidas persistentes que en su formulación química cuentan con al menos un enlace con un átomo de cloro. La gran mayoría eliminados o restringidos en su uso actualmente en Chile (y países signatarios del Convenio de Estocolmo).
- Otros: En este grupo se incluyeron contaminantes no contemplados en las categorías anteriores como fenoles (Compuestos orgánicos que contienen un grupo fenol, esto es un anillo aromático (fenil) unido a un grupo hidroxilo), asbestos y cianuro (CN-).

Posteriormente se revisó y priorizó aquellos listados por organismos o convenios internacionales, finalmente revisando su relevancia en Chile en cuanto a las investigaciones realizadas respecto a contaminación de suelos. Ocasionalmente, se revisaron estudios nacionales e internacionales específicos donde fuesen relevantes para la elección de los contaminantes y otras bases de datos (ej. clasificación según potencial cancerígeno de la International Agency for Research on Cancer - IARC).

De esta manera la metodología de elección de contaminantes se puede esquematizar por la Figura 3. El resumen de los contaminantes normados y su presencia en legislaciones y convenios se encuentra en el Anexo 3.

Adicionalmente se revisó la disponibilidad de los contaminantes seleccionados en los laboratorios chilenos. Esta revisión se encuentra en el Anexo 4.

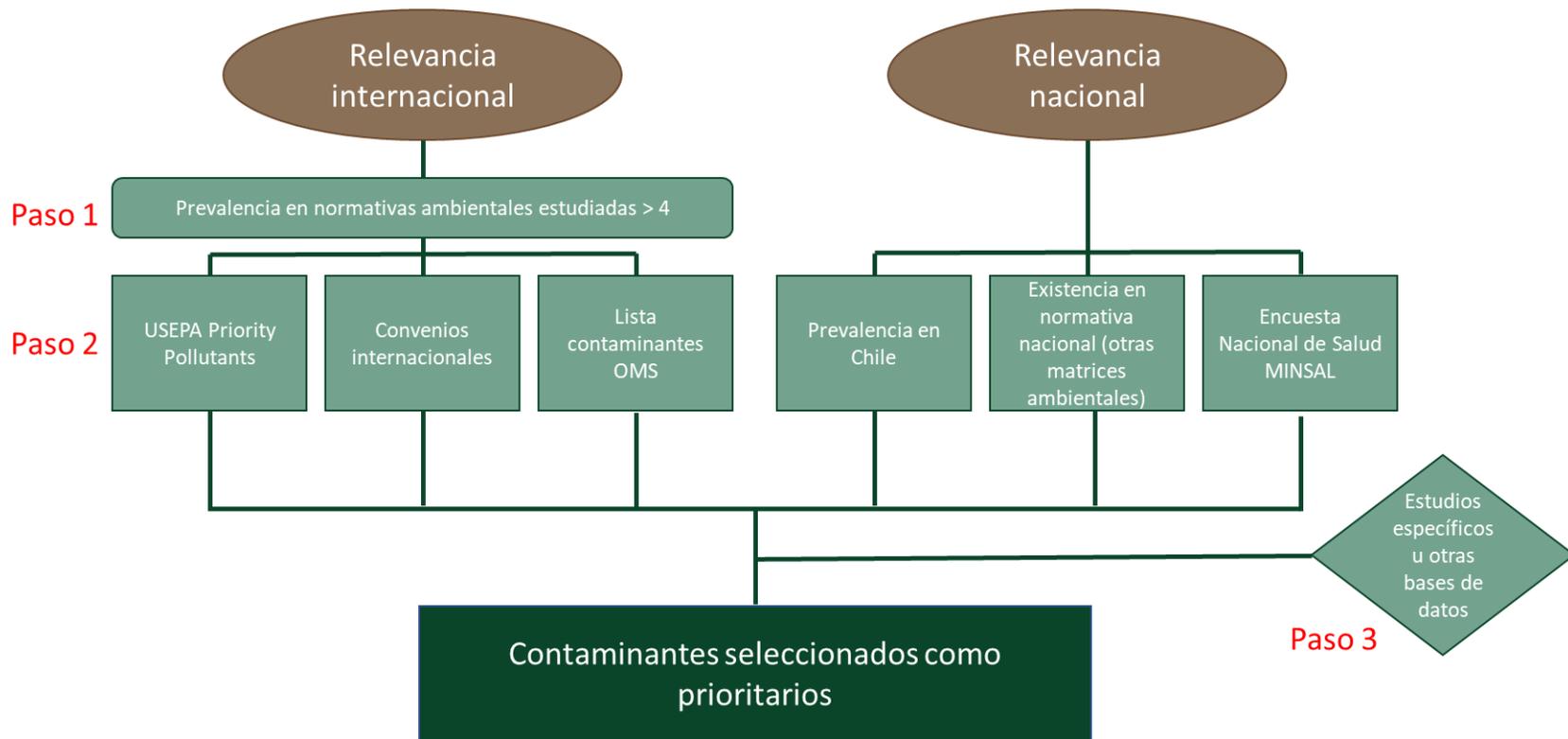


Figura 3 - Metodología de elección de contaminantes (Fuente: elaboración propia)

Metales y metaloides

La lista de los metales y metaloides que aparecen listadas en cuatro o más de las normativas revisadas comprende los siguientes: antimonio, arsénico, bario, cadmio, berilio, cobalto, cobre, plomo, mercurio, molibdeno, níquel, selenio, talio, vanadio, zinc, cromo total, cromo VI.

Para la elección final de los contaminantes se consideró si estos estaban identificados dentro de los “contaminantes prioritarios” indicados por la USEPA (Priority Pollutant List). Adicionalmente, se consideró si estos se encontraban en algún convenio internacional y si contaban con valores referenciales en normas chilenas para otras matrices.

Los resultados se presentan en la Tabla 36, con aquellos elegidos sombreados en gris.

Tabla 36 - Metales y metaloides seleccionados

Analito	CAS No.	Número de legislaciones	Priority Pollutants USEPA	Convenio de Basilea	NCh*
Antimonio	7440-36-0	5	x	x	–
Arsénico	7440-38-2	10	x	x	W/R/S/A
Bario	7440-39-3	5			W/R
Berilio	7440-41-7	6	x	x	W/R
Cadmio	7440-43-9	10	x	x	W/R
Cobalto	7440-48-4	7			W
Cobre	7440-50-8	8	x	x	W/R
Plomo	7439-92-1	9	x	x	W/R/A
Mercurio inorgánico ¹³	7439-97-6	10	x	x	W/R
Molibdeno	7439-98-7	6			W
Níquel	7440-02-0	10	x		W/R
Selenio	7782-49-2	7	x	x	W/R
Talio	7440-28-0	4	x	x	–
Vanadio	7440-62-2	6			W
Zinc	7440-66-6	8	x		W/R
Cromo total o VI	7440-47-3(VI)	7	x	x	W/R

Nota: NCh Norma Chilena; W normas para agua; R normas para residuos; S normas para suelos; A normas para aire

Como se puede ver en la tabla anterior, con la excepción del talio, todos los contaminantes elegidos están normados para otras matrices y la gran mayoría (9 de 12) han sido identificados como relevantes por el convenio de Basilea.

Hidrocarburos totales de petróleo (TPH)

Estados Unidos, Alemania, Países Bajos, Italia, Australia y Canadá incorporan en su normativa niveles de referencia para hidrocarburos totales, sin embargo, salvo Australia y Canadá todos los países incorporan

¹³ También presente en el convenio de Minamata sobre el mercurio

estos de manera diferente. Como mencionado anteriormente, los TPH representan mezclas de compuestos, es por esta razón que no están mencionados por organismos internacionales ni en convenios específicos. Sin embargo, representan una manera conveniente para una primera aproximación a la contaminación de un sitio ya sea en suelos o aguas.

En el caso de Estados Unidos, estos se evalúan de manera independiente separados en aromáticos (compuestos por uno o más anillos de benceno) y no aromáticos (llamados también alifáticos), siendo los primeros más tóxicos que los segundos. Adicionalmente, se separan por número de carbonos en tres fracciones aromáticas y tres alifáticas, de la siguiente manera (Tabla 37):

Tabla 37 - Separación de los TPH en Estados Unidos

Fracciones de TPH	Número de carbonos	Compuesto representativo
Low aliphatic	C ₅ -C ₈	n-hexano
Medium aliphatic	C ₉ -C ₁₈	n-nonano
High aliphatic	C ₁₉ -C ₃₂	Aceite mineral blanco
Low aromatic	C ₆ -C ₈	Benceno
Medium aromatic	C ₉ -C ₁₆	Promedio de 2-metilnaftaleno y naftaleno
High aromatic	C ₁₇ -C ₃₂	Fluoranteno

Fuente: USEPA Regional Screening Levels Frequent Questions November 2020¹⁴

En el caso de Alemania y los Países Bajos, ambos se refieren a una mezcla heterogénea de compuestos derivados del petróleo asociada a las fracciones C₁₀ a C₄₀ la que se denomina “Mineral Oil” o Aceite Mineral.

En el caso de Italia, los niveles de referencia están dados para tres componentes:

- *Idrocarburi Leggeri C inferiore o uguale a 12* (hidrocarburos ligeros inferiores o iguales a C₁₂)
- *Idrocarburi pesati C superiore a 12* (hidrocarburos pesados superiores a C₁₂)
- *Somma organici aromatici 20-23* (sumatoria de orgánicos aromáticos C₂₀-C₂₃)

En Australia, luego de realizar una revisión de los métodos de evaluación de TPH internacionales¹⁵ se optó por utilizar los niveles de referencia y fraccionamiento dados a nivel federal por Canadá, indicados en el Canada Wide Standards for Petroleum Hydrocarbons in soil del Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). Estos corresponden a las siguientes fracciones:

- F1 C₆-C₁₀
- F2 C₁₀-C₁₆
- F3 C₁₆-C₃₄
- F4 C₃₄-C₅₀

¹⁴ Disponible en: <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-frequent-questions#FQ51>

¹⁵ Friebel, E., & Naudebaum, P. (2011). *Health screening levels for petroleum hydrocarbons in soil and groundwater*. CRC Care Australia.

Es importante notar, a su vez, que estas fracciones están dadas por las investigaciones realizadas por el Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group (TPHCWG) entidad científica de Estados Unidos formada en 1993, cuyos resultados se encuentran publicados en (Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group, TPHCWG, 1999)¹⁶.

Cabe notar que en Australia los TPH se denominan TRH (total recoverable hydrocarbons) o “hidrocarburos totales recuperables”, ya que se indica que las concentraciones medidas pueden estar formadas también por fuentes no derivadas del petróleo como ácidos grasos o sustancias húmicas vegetales, por lo que el nombre “hidrocarburos totales de petróleo” sería confuso.

Canadá a nivel federal utiliza el método de fraccionamiento anteriormente descrito, sin embargo, en la Provincia de British Columbia se utiliza un fraccionamiento levemente diferente mostrado abajo, con ausencia de consideración de la fracción superior a C₃₂:

- VPH C₆-C₁₀
- LEPH C₁₀-C₁₉
- HEPH C₁₉-C₃₂

Sin embargo, cabe notar que la British Columbia Science Advisory Board for Contaminated Sites (SAB), indica que las fracciones dadas por la CCME son recomendables ya que están basadas en riesgo, y han sido extensamente revisadas por la comunidad científica (British Columbia Science Advisory Board for Contaminated Sites, 2003)¹⁷.

Se revisó también el fraccionamiento en análisis de hidrocarburos utilizado en distintos estudios revisados por EnSoil (2021), y se encontró que estos eran bastante heterogéneos C₅-C₁₀, C₆-C₁₀, C₁₀-C₂₈, C₁₀-C₁₆, etc. Sin embargo, la fracción C₅/C₆-C₁₀ es relativamente consistente y existen algunos que utilizan las fracciones de Australia/CCME, por ejemplo, en Poch/Emgrisa (2015)¹⁸ y CENMA (2014)¹⁹.

Considerando la información planteada anteriormente, es la recomendación de EnSoil la adopción de las fracciones de hidrocarburos indicadas en la legislación australiana y por CCME como se presenta en la Tabla 38 con aquellos elegidos sombreados en gris. Esto, ya que representan un enfoque revisado científicamente, además de su disponibilidad en laboratorios analíticos en Chile.

Se reconoce que el enfoque de la USEPA es más específico en cuanto a toxicidad, al separar en fracciones aromáticas y alifáticas, sin embargo, esta técnica no se encuentra actualmente disponible de manera comercial en Chile.

¹⁶ Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group, TPHCWG. (1999). Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group series: Volumes 1-5. Amherst, MA: Amherst Scientific Publishers.

¹⁷ British Columbia Science Advisory Board for Contaminated Sites. (2003). CCME Canada Wide Standards for Petroleum Hydrocarbons.

¹⁸ Estudio “Diagnóstico ambiental y análisis de riesgo para uso habitacional del sector del Ex Ferrocarril Salitrero, Taltal” realizado por Poch/Emgrisa para la Ilustre Municipalidad de Taltal el año 2015

¹⁹ Estudio “Diagnóstico regional de suelos abandonados con potencial presencia de contaminantes, región de Antofagasta” realizado por CENMA para la Seremi de Medio Ambiente de Antofagasta el año 2014

Tabla 38 - Fracciones de TPH seleccionadas

TPH Fracciones	País
C ₅ -C ₈ Alifáticos	Estados Unidos
C ₉ -C ₁₈ Alifáticos	
C ₁₉ -C ₃₂ Alifáticos	
C ₆ -C ₈ Aromáticos	
C ₉ -C ₁₆ Aromáticos	
C ₁₇ -C ₃₂ Aromáticos	
F1 C ₆ -C ₁₀	Canadá (Federal) y Australia
F2 C ₁₀ -C ₁₆	
F3 C ₁₆ -C ₃₄	
F4 C ₃₄ -C ₅₀	
VPH C ₆ -C ₁₀	Canadá (British Columbia)
LEPH C ₁₀ -C ₁₉	
HEPH C ₁₉ -C ₃₂	
Hidrocarburos ligeros inferiores o iguales a C ₁₂)	Italia
Hidrocarburos pesados superiores a C ₁₂)	
Sumatoria de orgánicos aromáticos C ₂₀ -C ₂₃)	

Benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos y naftaleno (BTEXN)

Estos compuestos son listados por la mayoría de las normativas revisadas y son comúnmente analizados en su conjunto en investigaciones de suelos contaminados, representando a los contaminantes más usuales y relevantes en cuanto a toxicidad dentro de los hidrocarburos de cadena C₆ a C₁₀. El benceno, etilbenceno y naftaleno son nombrados como contaminantes prioritarios por la USEPA, con el benceno mencionado también por la OMS. Adicionalmente, tres de estos compuestos se encuentran normados en Chile para otras matrices

En consideración de lo anterior, todos estos se han definido como prioritarios como indica la Tabla 39.

Tabla 39 - BTEXN en las normativas

Analito	CAS No.	Número de legislaciones	Priority List USEPA	OMS	Normativa Chilena
Benceno	71-43-2	7	x	x	W/R
Tolueno	108-88-3	8			W
Etilbenceno	100-41-4	8	x		
Xilenos	1330-20-7	8			W/R
Naftaleno	91-20-3	5	x		

Nota: NCh Norma Chilena; W normas para agua; R normas para residuos; S normas para suelos; A normas para aire

Hidrocarburos policíclicos aromáticos

La lista de los hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAH) que aparecen listadas en cuatro o más de las normativas revisadas comprende los siguientes: cresoles, antraceno, benz[a]antraceno, benzo[a]pireno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, criseno, dibenz[a,h]antraceno, fluoranteno, indeno[1,2,3-cd]pireno, pireno y estireno. Todos salvo el estireno se encuentran presentes en la lista de contaminantes prioritarios de la USEPA.

Dada la sabida carcinogenicidad de algunos PAH, de este grupo se eligieron aquellos que tenían una clasificación dada por la International Agency for Research on Cancer (IARC) como *1 Carcinógeno para humanos*, *2A Probablemente carcinógeno para humanos* y *2B Posiblemente carcinógeno para humanos*. De acuerdo a este criterio, los PAH elegidos se muestran sombreados en gris en la Tabla 40.

Tabla 40 - PAH seleccionados

Analito	CAS No.	Número de legislaciones	Priority USEPA	Normativa Chilena	IARC
Cresoles	1319-77-3	4	x		NC
Antraceno	120-12-7	5	x		3
Benz[a]antraceno	56-55-3	5	x		2b
Benzo[a]pireno	50-32-8	8	x	W	1
Benzo[b]fluoranteno	205-99-2	4	x		2b
Benzo[k]fluoranteno	207-08-9	4	x		2b
Criseno	218-01-9	5	x		2b
Dibenz[a,h]antraceno	53-70-3	5	x		2a
Fluoranteno	206-44-0	4	x		3
Indeno[1,2,3-cd]pireno	193-39-5	5	x		2b
Pireno	129-00-0	4	x		3
Estireno	100-42-5	6			2a

Nota: NCh Norma Chilena; W normas para agua; R normas para residuos; S normas para suelos; A normas para aire

Compuestos organoclorados

La lista de los compuestos organoclorados que aparecen listadas en cuatro o más de las normativas revisadas comprende los siguientes: tetracloruro de carbono, clorobenceno, cloroformo, dicloroetano, 1,1-, dicloroetano, 1,2-, dicloroetileno, 1,1-, dicloroetileno cis-1,2- (cisDCE), dicloropropano, 1,2-, cloruro de metileno, tetracloroetano, 1,1,2,2-, tetracloroetileno (PCE), triclorobenceno, 1,2,4-, tricloroetano, 1,1,1-, tricloroetano, 1,1,2-, tricloroetileno (TCE), cloruro de vinilo (VC).

Todos estos contaminantes, salvo el Tricloroetano, 1,1,1, están identificados dentro de los “contaminantes prioritarios” indicados por la USEPA (Priority Pollutant List). Por consiguiente, se chequeo su relevancia en la literatura encontrándose que el tricloroetileno (TCE) y sus derivados son los contaminantes organoclorados más frecuentemente encontrados en sitios contaminados (Office of Environment and Heritage NSW (Australia), 2011)²⁰ (Matteucci, Ercole, & del Gallo, 2015)²¹.

Es más, una revisión realizada por la USEPA indicó que, en cuanto a contaminantes orgánicos, el TCE sería el tercer contaminante orgánico más comúnmente encontrado (46% de frecuencia) en sitios contaminados como muestra la Figura 4 abajo. Notar que seguido de este en quinto lugar, se encuentra el cloruro de vinilo, el cual es un producto de la degradación del TCE (que incidentalmente es aún más tóxico que el TCE). Tanto

²⁰ Office of Environment and Heritage NSW (Australia). (2011). *Management of Chlorinated Solvents*. Sydney.

²¹ Matteucci, F., Ercole, C., & del Gallo, M. (2015). A study of chlorinated solvent contamination of the aquifers of an industrial area in central Italy: a possibility of bioremediation. *Frontiers in Microbiology*, Volumen 6, Artículo 924.

el TCE como el cloruro de vinilo se encuentran clasificados por la IARC como clase 1 *Carcinógeno para humanos*.

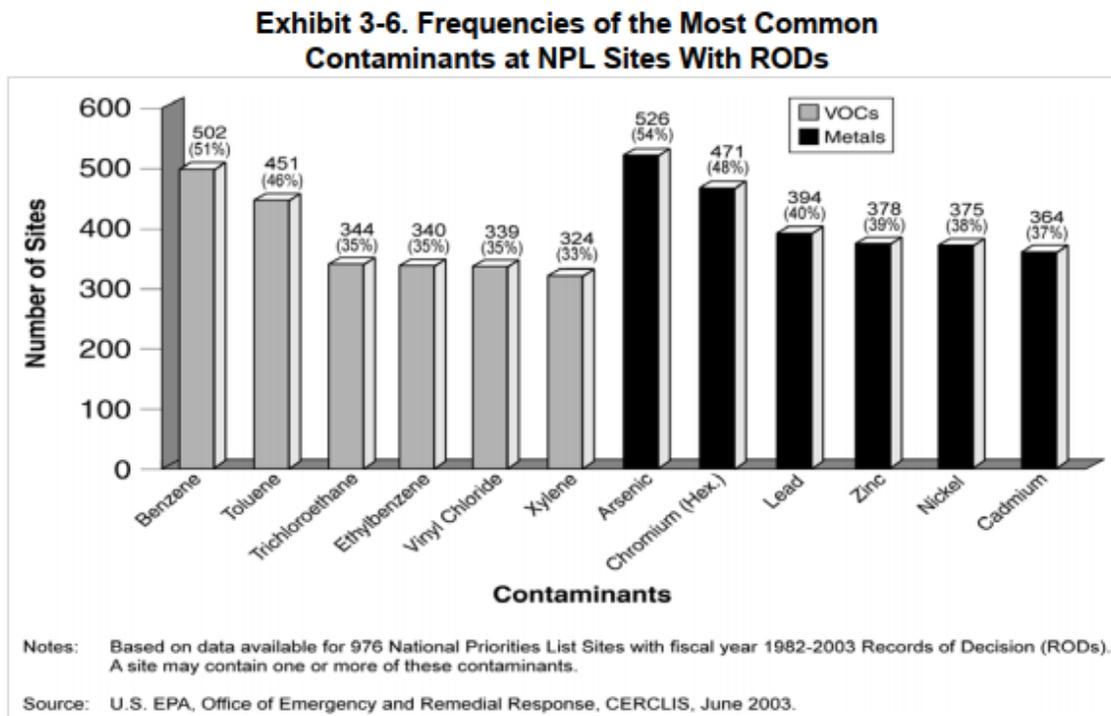


Figura 4 - Frecuencia de los contaminantes más comunes (USEPA, 2004)²²

Si bien, los estudios revisados por EnSoil (2021) no han determinado contaminación por compuestos organoclorados, dada su potencial frecuencia en sitios contaminados indicada por la literatura (y toxicidad) se ha elegido el TCE y sus productos de degradación como recomendados para normar. Cabe notar que se ha incluido el PCE como fuente potencial de TCE y su producto de degradación intermedio más común el cisDCE. La cadena de degradación (por dechlorinación reductiva) hasta el compuesto etano (no toxico) se muestra en la Figura 5 abajo y los contaminantes elegidos (TCE precursor y derivados) en la Tabla 41.

²² USEPA. (2004). *Cleaning Up The Nation's Waste Sites Markets And Technology Trends*. Washington.

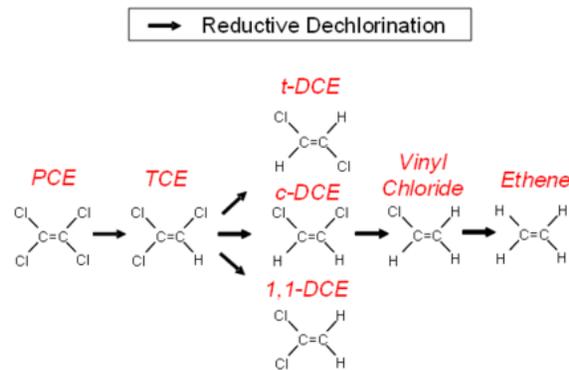


Figura 5 - Degradación de alquenos clorados a etano²³

Tabla 41 - Compuestos organoclorados seleccionados

Analito	CAS No.	Número de legislaciones	Priority USEPA	Rotterdam	Normativa Chilena*
Tetracloruro de carbono	56-23-5	5	x		W/R
Clorobenceno	108-90-7	5	x		R
Cloroformo	67-66-3	6	x		R
Dicloroetano, 1,1-	75-34-3	4	x		
Dicloroetano, 1,2-	107-06-2	6	x	x	R
Dicloroetileno, 1,1-	75-35-4	6	x		R
Dicloroetileno, cis-1,2- (DCE)	156-59-2	4	x		
Dicloropropano, 1,2-	78-87-5	4	x		
Cloruro de metileno	75-09-2	6	x		
Tetracloroetano, 1,1,2,2-	79-34-5	4	x		
Tetracloroetileno (PCE)	127-18-4	8	x		R
Triclorobenceno, 1,2,4-	120-82-1	5	x		W
Tricloroetano, 1,1,1-	71-55-6	5			
Tricloroetano, 1,1,2-	79-00-5	5	x		
Tricloroetileno (TCE)	79-01-6	8	x		R
Cloruro de vinilo	75-01-4	6	x		R

*Nota: NCh Norma Chilena; W normas para agua; R normas para residuos; S normas para suelos; A normas para aire

Pesticidas organoclorados

La lista de los metales y metaloides que aparecen listadas en cuatro o más de las normativas revisadas comprende los siguientes: Aldrina, Atrazina, Clordano, DDD, p,p'- (DDD), DDE, p,p'-, DDT, Diclorobenceno, 1,2-, Diclorobenceno, 1,4-, Dieldrín, Endosulfan, Endrin, Epoxido de heptacloro, Hexaclorobenceno,

²³ Disponible en:

[https://www.enviro.wiki/index.php?title=Monitored_Natural_Attenuation_\(MNA\)_of_Chlorinated_Solvents](https://www.enviro.wiki/index.php?title=Monitored_Natural_Attenuation_(MNA)_of_Chlorinated_Solvents)

Hexaclorociclohexano, Alpha-, Hexaclorociclohexano, Beta-, Hexaclorociclohexano, Gamma- (Lindano), Pentaclorofenol.

De estos, todos están contemplados por la USEPA (Priority Pollutant List), por la OMS, por los tratados de Estocolmo y Rotterdam, o se encuentran listados en normativa chilena para otras matrices. Una revisión realizada en la literatura en cuanto a estudios realizados en Chile específicos a contaminación de suelos por pesticidas organoclorados indicó que estudios realizados en la V Región entre 1982-1984 y en regiones VI a XI entre 1987-1989, y un estudio más reciente del 2013 en el Valle de Aconcagua solo identificaron a los contaminantes DDT, DDE y dieldrín en suelos (Parraguez, 2013)²⁴. Más aún, un estudio realizado en la comuna de Chonchi (Chiloé), no identificó pesticidas organoclorados en el muestreo realizado (Jerez, 1999)²⁵.

Dados estos antecedentes, se han elegido el DDT y sus productos de degradación DDD y DDE como contaminantes prioritarios. Adicionalmente, dada la experiencia de uno de los expertos del grupo consultor de EnSoil que trabajó personalmente en un sitio con extensa contaminación por clordano, se ha incluido este contaminante. Finalmente, como se presentará en la Sección 25, en base a la experiencia profesional de uno de los expertos entrevistados el Sr. Daniel Rebolledo del CITUC, se ha incluido adicionalmente como contaminante al pentaclorofenol (Tabla 42).

Tabla 42 - Pesticidas organoclorados seleccionados

Analito	CAS No.	Número de legislaciones	Priority USEPA	OMS	Estocolmo	Rotterdam	NCh*
Aldrina	309-00-2	7	x	O	E	x	W/R
Atrazina	1912-24-9	4		III			W
Clordano	12789-03-6	6	x	II		x	W/R
DDD, p,p'- (DDD)	72-54-8	5	x				W
DDE, p,p'-	72-55-9	6	x				W
DDT	50-29-3	6	x	II	R	x	W
Diclorobenceno, 1,2-	95-50-1	5	x	II			
Diclorobenceno, 1,4-	106-46-7	5	x	II			R
Dieldrín	60-57-1	4	x	O	E	x	W
Endosulfan	115-29-7	4	x	II		x	
Endrin	72-20-8	6	x	O	E		R
Epóxido de heptacloro	1024-57-3	4	x				
Hexaclorobenceno	118-74-1	8	x	Ia	P	x	R
Hexaclorociclohexano, Alpha-	319-84-6	5			E	x	

²⁴ Parraguez, D. (2013). "Evaluación del Cumplimiento de la Medida de Gestión Implementada: "Prohibición de los Pesticidas Organoclorados (POCS)" en el Suelo Agrícola, del Valle de Aconcagua, Provincia de San Felipe, V Región, Chile" Tesis de Grado para Magíster en Gestión y plan. Santiago, Chile: Universidad de Chile.

²⁵ Jerez, S. (1999). "Determinación de pesticidas Organoclorados en suelo agrícola y productos agropecuarios de la Comuna de Chonchi, Provincia de Chiloé" Tesis de Grado para el grado de Licenciado en Medicina Veterinaria. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.

Hexaclorociclohexano, Beta-	319-85-7	5			E	x	
Hexaclorociclohexano, Gamma- (Lindano)	58-89-9	7			E	x	W/R
Pentaclorofenol	87-86-5	9	x				W/R

Nota: NCh Norma Chilena; W normas para agua; R normas para residuos; S normas para suelos; A normas para aire

Otros contaminantes

Los contaminantes no clasificados en los otros grupos que aparecen listados en cuatro o más de las normativas revisadas comprende los siguientes: asbestos, cianuro y policlorobifenilos (PCBs). Vale notar que los PCBs son compuestos organoclorados, sin embargo, se han separado ya que a diferencia de la categoría de los organoclorados indicada anteriormente cuya fuente son generalmente solventes, la fuente de estos son principalmente aceites de equipamiento eléctrico antiguo. En específico, transformadores y capacitores, los que por ejemplo se podrían encontrar en centrales eléctricas que daten de los años 80 o antes. En Chile la Resolución Exenta 610 (1982) de la Superintendencia de Electricidad y Combustible (SEC) prohíbe el uso de los fluidos dieléctricos con PCBs.

Se reconoce el asbesto como un material altamente tóxico (está listado por la USEPA, OMS y convenios de Rotterdam y Basilea), prohibido desde el 2000 en Chile bajo el Decreto 656/2000 del Ministerio de Salud y presente en Chile principalmente en techumbres de construcción y tuberías de agua anterior a su prohibición. Su evaluación y retiro, sin embargo, está regulado por el Ministerio de Salud, e indicada en el documento *Manual para la elaboración de un Plan de Trabajo con materiales que contienen asbesto friable o no friable*²⁶, por lo que no se estima pertinente incluir este contaminante a la lista.

El resto de los contaminantes mencionados se han considerados pertinentes y relevantes para su inclusión, como muestra la Tabla 43.

Tabla 43 - Otros contaminantes seleccionados

Analito	CAS No.	Número de legislaciones	Priority USEPA	OMS	Estocolmo	Rotterdam	Basilea	Normativa Chilena (SEC)
Asbestos	1332-21-4	4	x	x		x	x	
Cianuro (CN-)	57-12-5	5	x				x	
PCB	-	9	x	x	x			x

4.1.4 Contaminantes (de interés) emergentes

Actualmente existen una serie de contaminantes (o productos químicos) de las cuales se desconoce con certeza cuál es el efecto que estos pueden causar en el medio ambiente o en la salud. Es necesario mencionar estos contaminantes, ya que al igual que otros, pueden generar en un futuro la necesidad de ser normados y ser estudiados en sus efectos para la salud. A continuación, se encuentra una lista de contaminantes emergentes nombrados por USEPA²⁷:

- 1,2,3-tricloropropano (TCP)

²⁶ Disponible en: <http://www.asrm.cl/archivoContenidos/asbesto-parte-1.pdf>

²⁷ Disponible en: <https://www.epa.gov/fedfac/emerging-contaminants-and-federal-facility-contaminants-concern>

- 1,4-Dioxano
- 2,4,6-trinitrotolueno (TNT)
- Dinitrotolueno (DNT)
- Hexahidro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazina (RDX)
- Nanomateriales
- N-nitroso-dimetilamina (NDMA)
- Perclorato
- Sulfonato de perfluorooctano (PFOS) y ácido perfluorooctanoico (PFOA), en su conjunto denominadas PFAS (sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas).
- Bifenilos polibromados (PBB)
- Éteres de difenilo polibromados (PBDE)
- Tungsteno

Uno de los contaminantes emergentes de más estudio en la actualidad son los PFAS. Estos son un grupo de agentes químicos que se han utilizado en una variedad de industrias de todo el mundo desde la década de 1940. Son sumamente persistentes en la naturaleza y en el cuerpo humano y existe evidencia de que la exposición a estos puede generar efectos perjudiciales para la salud.

Los PFAS pueden encontrarse en productos como en repelentes de manchas, productos antiadherentes, y espumas para combatir incendios, por lo que uno de los sitios más comunes donde se encuentra contaminación es en los aeropuertos y zonas de prácticas de extinción de incendios²⁸.

Cabe destacar, la existencia de un inventario de contaminantes orgánicos persistentes en el que se consideró el uso y emisión de PBDE y PFOS al medio ambiente (*Revisión y Actualización del Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) en Chile*, del año 2017, realizado por la Facultad de Ciencias de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, para el MMA). Esta revisión también incorporó el hexabromociclodecano (HBCD), también identificado como un contaminante emergente en la revisión.

Este inventario corresponde al primer esfuerzo realizado en Chile para estimar las cantidades liberadas al medio ambiente de estos contaminantes emergentes y contemplo una recopilación de la información disponible de estudios científicos y otras fuentes. Las conclusiones principales son las siguientes:

- En general faltan estudios que midan estos contaminantes en el ambiente. Si bien se han realizado algunas mediciones (ej. Bahía de Concepción) estos estudios son muy puntuales, sobre todo en el caso de los HBCD.
- En base a los estudios realizados, se logró identificar tres potenciales fuentes emergentes de nuevos COPs en el ambiente: i) las sustancias químicas usadas para combatir incendios (retardantes de llama), ii) los aditivos utilizados para realizar las soluciones de los retardantes de llama (anilina) y iii) los incendios en vertederos-rellenos sanitarios municipales.
- Se requiere mayor información analítica respecto a los productos que podrían contener estos COPs que ingresan al país. Esto incluye espumas para combatir incendios, telas sintéticas, papel con revestimiento antiadherente, artículos eléctricos y electrónicos, etc.

²⁸ Disponible en: <https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-pfas>

- Se realizaron estimaciones teóricas de la cantidad de nuevos COPs presentes in productos importados el 2016 223 T de PFOS, 346 T de PBDEs y 83 T de HBCD. Los mayores aportes teóricos al inventario nacional fueron realizados por: a) los artículos electrónicos importados el año 2016, los que contribuirían con 342 T de PBDEs y 90 T de PFOS, y b) las telas sintéticas, las que contribuirían con 100 T de PFOS.
- Se identificaron un total 43 empresas nacionales que podrían producir o utilizar nuevos COPs en el desarrollo de sus productos, de las cuales el 60% correspondería a empresas de la industria química, el 14% a la industria textil, el 9% a la industria minera y metalúrgica, el 5% a empresas del rubro de las alfombras sintéticas, el 5% a industrias de la celulosa y el papel, y el resto, correspondería a empresas dedicadas a la distribución o reciclaje de artículos electrónicos y de la industria de semiconductores.
- A partir del monitoreo ambiental de nuevos COPs en las emisiones liberadas por el incendio ocurrido entre el 18 y 22 de enero de 2016 en el relleno sanitario Santa Marta (región Metropolitana), fue posible estimar emisiones diarias de PBDEs y PFOA, usando el modelo de dispersión CALPUFF. Las emisiones estimadas de PFOA fueron 1,8 (g·día⁻¹) y las emisiones de PBDEs fueron 0,59 (g·día⁻¹) en La Pintana el 18 de enero y 1,18 (g·día⁻¹) en San Bernardo el 21 de enero. Estos valores son relativamente altos comparados con estudios realizados en otras partes del mundo, por lo tanto, se debe considerar medidas futuras para evitar la exposición humana a tales sustancias.

4.1.5 Resumen de contaminantes a normar seleccionados

A continuación, se presenta una tabla con los contaminantes a normar de todos los grupos junto con sus principales fuentes de emisión. En los capítulos a continuación se entregan fichas toxicológicas de los contaminantes seleccionados.

Tabla 44 - Contaminantes seleccionados unificados

Contaminante		Principales fuentes de emisión
TPH	F1 C ₆ -C ₁₀	Cualquier industria/comercio con almacenamiento de combustibles o solventes
	F2 >C ₁₀ -C ₁₆	
	F3 >C ₁₆ -C ₃₄	
	F4 >C ₃₄ -C ₄₀	
Metales	Antimonio (metálico)	Minería, procesos industriales (ej. combustión de carbón y combustibles), plantas químicas, procesos naturales, residuos industriales (ej. baterías, componentes electrónicos), papeleras. Específicamente: pinturas antiguas (plomo); electropintura, producción de cuero, cromados (cromo VI), minería de oro (mercurio), insecticidas antiguos (talio), tratamiento de maderas (cobre, cromo y arsénico)
	Arsénico, inorgánico	
	Berilio y compuestos	
	Cadmio	
	Cobre	
	Plomo	
	Níquel	
	Selenio	
	Zinc	
	Cromo (VI)	
	Mercurio	
Talio		
BTEXN	Benceno	Cualquier industria/comercio con almacenamiento de combustibles o solventes
	Etilbenceno	
	Naftaleno	
	Tolueno	
	Xilenos	

Contaminante		Principales fuentes de emisión
Pesticidas clorados	Clordano	Sitios con historia extensa de agricultura, industria forestal y papeleras (pentaclorofenol).
	DDT, DDE, DDD	
	Dieldrin	
	Pentaclorofenol	
	Endrina	
	Epóxido de heptacloro	
	Hexaclorobenceno	
	Lindano	
Organoclorados	Tetracloruro de carbono	Procesos industriales donde se utilicen solventes (ej. plantas químicas, refinerías) y otros usos comerciales (ej. lavanderías, talleres mecánicos)
	1,2-dicloroetano	
	Cloroformo	
	Cloruro de metileno	
	Tetracloroetileno	
	Tricloroetileno	
	Cloruro de vinilo	
PAH	Benz [a] antraceno	Fundiciones, producción de asfalto, elaboración de carbón coque, refinería de aluminio, producción de acero.
	Benzo [a] pireno	
	Benzo [b] fluoranteno	
	Benzo [k] fluoranteno	
	Dibenzo [a,h] antraceno	
	Indeno [1,2,3-cd] pireno	
	Criseno	
Otros	Fenol	Degradación de benceno, descargas industriales
	Cianuro	Minería de plata y oro
	PCB	Componentes eléctricos antiguos (ej. centrales eléctricas)

4.2 Metales

4.2.1 Antimonio

Descripción General	El antimonio (Sb) es un elemento semimetálico que está naturalmente presente en la corteza terrestre a niveles de aproximadamente 0.2–0.3 mg/kg (ppm), pero estos niveles varían según la ubicación. Es estable a temperatura ambiente y está directamente relacionado con el arsénico.
Toxicidad	<p>El antimonio y sus compuestos se encuentran entre los remedios más antiguos conocidos en la práctica de la medicina y se han utilizado para tratar una variedad de enfermedades en los últimos 600 años. Actualmente, los compuestos de antimonio se usan para tratar la leishmaniasis parasitaria.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: Se han informado efectos secundarios tóxicos en humanos como vómitos, diarrea y dolor en las articulaciones y / o músculos. • Toxicidad crónica: Después de la exposición directa por inhalación de antimonio, se han detectado efectos respiratorios, efectos del miocardio y alteraciones del ECG, efectos gastrointestinales, efectos en el desarrollo

	<p>como disminución de crecimientos en bebés y niños. Dosis más altas de exposición directa pueden ocasionar vacuolización hepatocelular y alteraciones hematológicas que incluye la disminución de glóbulos rojos y disminución de los niveles de glucosa en la sangre en el caso de exposición oral, también se ha observado dermatosis e irritación ocular en trabajadores expuestos a Antimonio en el aire.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Efectos cancerígenos: la carcinogenicidad del antimonio ha detectado un aumento en las muertes por cáncer de pulmón. El Departamento de Salud y Servicios Humanos (HHS) de Estados Unidos ha categorizado el trióxido de antimonio como razonablemente anticipado como un carcinógeno humano (NTP 2018). La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC 2015) clasificó el trióxido de antimonio en el grupo 2B (posiblemente cancerígeno para los humanos) y el trisulfuro de antimonio en el grupo 3 (no clasificable en cuanto a su carcinogenicidad para los humanos). La EPA no ha clasificado la carcinogenicidad del antimonio.
<p>Fuentes de emisión</p>	<p>La población en general puede estar expuesta al antimonio a través de la ingesta de alimentos y agua potable, la inhalación de partículas dispersas en el aire o la ingesta de suelo o polvo contaminado. En el ámbito laboral, la exposición puede ocurrir en fundiciones, plantas de carbón e incineradoras de basura que procesan o liberan antimonio. De manera similar, las personas que están expuestas al hollín y al humo en incendios, como los bomberos, pueden estar expuestas a altos niveles de antimonio.</p>
<p>Comportamiento en el medio ambiente</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: El antimonio se transporta a las corrientes hídricas y vías fluviales por medio de la escorrentía del agua por suelos degradados o alterados. También se encuentra en el agua debido a la contaminación de la minería y la fundición. Los costados de las carreteras y caminos transitados por vehículos contienen un alto índice de polvo proveniente de las pastillas de frenos y neumáticos que originan las emisiones de Antimonio. • Aire: Las emisiones de antimonio a la atmósfera provienen de fuentes naturales (partículas de suelo transportadas por el viento, volcanes, spray, incendios forestales y fuentes biogénicas) y antropogénicas (combustión del carbón, la fundición y el refinado). Las principales fuentes de emisiones de Antimonio son el polvo de abrasión de frenos de los automóviles y las cenizas volátiles de desechos. • Suelo y sedimentos: El antimonio es un componente natural del suelo y se produce a partir de la meteorización de los materiales parentales del suelo. A mayor contaminación del suelo mayores son las concentraciones de Antimonio. La industria de las fundiciones son las principales liberadoras de antimonio a la tierra, gran parte de esta liberación es escoria, o residuos operacionales del proceso fundición.
<p>Interacción con otros químicos</p>	<p>No se encontró información sobre la influencia de otros compuestos sobre la toxicidad del antimonio inhalado o ingerido.</p>
<p>Cobertura normativa existente</p>	<p>No existe información en normativa nacional.</p>

4.2.2 Arsénico

<p>Descripción General</p>	<p>Es un elemento ubicuo y está clasificado como metaloide, o sea un elemento entre los metales y no metales. Es un elemento natural ampliamente distribuido en la corteza terrestre y en los minerales. En la naturaleza generalmente se encuentra en estado oxidado o sulfurado y tiene las valencias +3 y +5.</p>
<p>Toxicidad</p>	<p>La toxicidad del arsénico depende del estado de oxidación, la estructura química y la solubilidad en el medio biológico. La toxicidad aguda de compuestos de arsénico en el ser humano es función de la capacidad de asimilación del cuerpo humano. La arsina es considerada la forma más tóxica, seguida del arsenito, de arseniatos y los compuestos orgánicos de arsénico.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: El arsénico puro no es tóxico. Las principales vías de exposición a través de las cuales tienen lugar las intoxicaciones agudas en seres humanos y mamíferos son la ingestión e inhalación de compuestos trivalentes inorgánicos tales como óxido de arsénico. Los compuestos de arsénico pentavalente se absorben casi totalmente en la mayoría de las especies. La absorción de arsénico trivalente es limitada, aunque la toxicidad es mayor debido a su elevada solubilidad en lípidos. La inhalación de niveles altos de arsénico inorgánico puede producir dolor de garganta e irritación de los pulmones. La ingestión de niveles muy altos de arsénico puede ser fatal. La exposición a niveles más bajos puede producir náuseas y vómitos, disminución del número de glóbulos rojos y blancos, ritmo cardíaco anormal, fragilidad capilar y una sensación de hormigueo en las manos y los pies. El contacto de la piel con arsénico inorgánico puede producir enrojecimiento e hinchazón. El polvo de arsénico puede producir irritación en la piel expuesta y en las mucosas. • Toxicidad crónica: La intoxicación crónica puede ser causada por la ingestión de alimentos y agua que contienen arseniuros o a través de la inhalación de polvo. Los síntomas pueden aparecer incluso después de muchos años de latencia. La intoxicación crónica produce lesiones en la médula ósea, sangre, hígado, vías respiratorias y sistema nervioso central. En el organismo humano el arsénico elemental ingerido se absorbe lentamente, pero luego es eliminado por vía urinaria, heces, sudor y epitelio de la piel. La ingestión o inhalación prolongada de niveles bajos de arsénico inorgánico puede producir oscurecimiento de la piel y la aparición de pequeños callos o verrugas en la palma de las manos, la planta de los pies y el torso. • Efectos cancerígenos: La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) lo califica como categoría 1 (carcinogénico), la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) y la organización American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) han determinado que el arsénico inorgánico es un

	<p>carcinógeno humano, aumenta el riesgo de cáncer de piel, de hígado, de vejiga y de pulmón.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Efectos cancerígenos teratogénicos y mutagénicos: En los seres humanos, el arsénico puede atravesar la barrera placentaria. Algunos estudios indican que una acumulación de arsénico en los tejidos infantiles, especialmente en bebés, pueden ocasionar un daño cerebral a largo plazo.
<p>Fuentes de emisión</p>	<p>El arsénico se encuentra naturalmente en los suelos y los minerales, y por tanto puede ingresar al aire, el agua y la tierra a partir del polvo arrastrado y al agua a partir de la escorrentía y lixiviación. Las erupciones volcánicas son una fuente de arsénico natural.</p> <p>El arsénico está asociado con minerales que contienen metales como el cobre y el plomo, por lo que puede ingresar al medio ambiente durante la extracción y fundición de estos minerales.</p> <p>También pueden liberarse pequeñas cantidades de arsénico a la atmósfera desde plantas de energía e incineradoras de carbón porque el carbón y los productos de desecho a menudo contienen algo de arsénico.</p>
<p>Comportamiento en el medio ambiente</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: El arsénico es transportado principalmente en el medio ambiente por agua, ya que muchos compuestos de arsénico son solubles en este medio. La mayor parte del arsénico en el agua termina eventualmente en el suelo o el sedimento. En las fases acuáticas el arsénico forma precipitados insolubles con una gran cantidad de compuestos (cadmio, azufre, bario, aluminio, hierro, etc.), lo que da como resultado la eliminación de los compuestos de arsénico del agua. • Aire: Hay muchas pruebas de biometilación en el suelo y de la liberación de metilarsinas en el aire. Se han detectado altos niveles de arsénico metilado compuesto en el aire de efecto invernadero. Sin embargo, el arsénico aerotransportado es principalmente inorgánico. • Suelos y sedimentos: La movilidad del arsénico en los suelos es mínima. A diferencia de la mayoría de los metales pesados, las variaciones de pH afectan poco a su solubilidad. En los suelos se encuentra como As⁵⁺ y As³⁺, éste último es más tóxico que el primero. El estado de oxidación está influenciado por la materia orgánica y los óxidos de hierro y aluminio. En suelos arenosos el arsénico es cinco veces más biodisponible que en los arcillosos. • Biota: Las plantas absorben arsénico bastante fácil, así que alto rango de concentraciones pueden estar presentes en la comida.
<p>Interacción con otros químicos</p>	<p>En el medio ambiente, el arsénico se combina con oxígeno y azufre para formar compuestos inorgánicos. El arsénico en animales y en plantas se combina con carbono e hidrógeno para formar compuestos orgánicos. Los compuestos inorgánicos de arsénico se usan principalmente para preservar madera (conocido como cobre-cromo-arsénico). Los compuestos orgánicos de arsénico se usan como plaguicidas, principalmente en cosechas de algodón y huertos frutales. Otras fuentes de emisión de arsénico son el uso de combustibles fósiles en plantas</p>

	termoeléctricas y los procesos de fundición y refinación de metales no ferrosos (Pb, Zn y Cu).
Cobertura normativa existente	D.S. 148/2003, D.S. 4/2009, Res. Ex. 297/2015, NCh 1333 riego, NCh409, D.S. 144/2008, D.S. 143/2008, D.S. 46/2002, D.S. 90/2000.

4.2.3 Berilio

Descripción General	<p>El berilio es un elemento natural. Está presente en rocas, suelo, carbón, petróleo y además en polvo volcánico. El berilio de alta pureza en su calidad de piedra preciosa, es conocido como aguamarina (de color azul o azul-verdoso) o esmeralda (de color verde). Es el metal más liviano y posee tanto compuestos solubles como insolubles en agua.</p> <p>La mayor parte del mineral de berilio es utilizado en aleaciones, las cuales se usan para fabricar componentes eléctricos, como material de construcción de maquinarias, en automóviles e incluso en piezas dentales. También, el berilio puro, es usado en armas y reactores nucleares, estructuras de aviones y vehículos espaciales, instrumentos, máquinas de rayos X y espejos.</p>
Toxicidad	<p>El pulmón es el principal afectado por la exposición por inhalación al berilio. La exposición a corto plazo o repetida al berilio o sus compuestos puede resultar en una forma aguda (neumonitis química) o crónica (beriliosis) de enfermedad pulmonar, dependiendo de la concentración de la exposición.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: la enfermedad aguda por berilio, que es una neumonitis química, es una enfermedad pulmonar de menos de 1 año de duración y es probable que se deba a una toxicidad directa. Esta puede ser fatal en el 10% de los casos, donde la gravedad de esta enfermedad parece depender directamente de la magnitud de las exposiciones recibidas. Las primeras investigaciones encontraron que la neumonitis química ocurrió en casi todos los trabajadores expuestos a 1000 µg/m³ y en ninguno expuesto a menos de 100 µg/m³. • Toxicidad crónica: la enfermedad crónica por berilio, conocida como beriliosis, es una enfermedad pulmonar inflamatoria que resulta de la exposición por inhalación a formas solubles e insolubles de berilio. Se caracteriza por la formación de granulomas, con diversos grados de fibrosis intersticial e implica una respuesta inmune específica del berilio. La evaluación de la exposición-respuesta al berilio se ha dificultado porque la beriliosis es una enfermedad inmunitaria y sólo un pequeño porcentaje de la población (1-5%) parece ser susceptible. • Efectos cancerígenos: a pesar de haber diversos estudios que sugieren que la exposición ocupacional al berilio puede resultar en un aumento en la mortalidad por cáncer de pulmón, la Organización Mundial de la Salud indica que estos no son concluyentes. La IARC lo clasifica sí como

	<p>cancerígeno Grupo 1 mientras que la USEPA lo clasifica como cancerígeno probable.</p>
<p>Fuentes de emisión</p>	<p>El berilio se emite naturalmente a la atmósfera a través de polvos arrastrados por el viento y partículas volcánicas. La principal fuente de emisión antropogénica es la combustión de carbón y petróleo, que libera partículas y cenizas volantes que contienen berilio. También, el berilio ingresa naturalmente a los cauces de agua a través de la erosión de rocas y suelos.</p> <p>Otras fuentes de emisión son directamente las fábricas que procesan o utilizan el berilio. El berilio se encuentra naturalmente en el tabaco y puede ser inhalado en el humo de cigarrillos.</p> <p>El berilio metálico y sus aleaciones pueden encontrarse en productos electrónicos como televisores, calculadoras y computadoras. El contacto directo con berilio en estos artículos es improbable debido a que estos materiales se encuentran encerrados con cubiertas protectoras para prevenir la exposición.</p>
<p>Comportamiento en el medio ambiente</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aire: los compuestos de berilio se encuentran principalmente en forma de pequeñas partículas de polvo, que posteriormente se deposita en el suelo y el agua. La lluvia y la nieve ayudan a remover el berilio del aire. Las partículas finas de berilio pueden permanecer en el aire aproximadamente 10 días. • Agua: la presencia de berilio en el agua proviene del desgaste de rocas y del suelo. También, parte del berilio proviene de descargas industriales, aguas de desagüe y del depósito de polvo de berilio liberado en actividades industriales. La mayor parte del berilio se deposita sobre el sedimento del fondo del agua, donde los componentes insolubles pueden permanecer cientos de años en el agua de mar antes de depositarse en el fondo del océano. • Suelo: el berilio es un componente natural del suelo, sin embargo, sus niveles aumentan debido a la disposición de ceniza de carbón, ceniza de incinerador y desechos industriales. Gran parte del berilio en el suelo no es soluble en agua y permanece adherido al suelo, por esta razón, es improbable que penetre hasta las cuencas de agua subterránea. • Biota: en el ambiente, las reacciones químicas pueden convertir los compuestos de berilio solubles en agua a formas insolubles, y en algunos casos, de manera inversa. En general, la exposición en el ambiente a compuestos solubles representa un riesgo mayor para la salud que las formas insolubles.
<p>Interacción con otros químicos</p>	<p>Los compuestos de berilio solubles ingeridos pueden interactuar con los fosfatos para formar partículas de fosfato de berilio insolubles que se secuestran en las células de Kupffer del hígado. La difusión de estas partículas depositadas puede causar daño a las células y necrosis del hígado. También se reportan interacciones con citrato de amonio férrico y ácido aurina tricarbóxico.</p>
<p>Cobertura normativa existente</p>	<p>NCh1333: Riego</p>

4.2.4 Cadmio

<p>Descripción General</p>	<p>El cadmio puede ser encontrado mayoritariamente en la corteza terrestre en combinación con el zinc, plomo y cobre. También es un componente natural del agua oceánica. Clasifica como uno de los metales más tóxicos tanto para vida vegetal, animal y seres humanos. Sus compuestos son utilizados como pigmentos y estabilizador de plásticos en el PVC, fungicidas y control en reactores nucleares.</p>
<p>Toxicidad</p>	<p>El cadmio es tóxico a niveles de exposición muy bajos y tiene efectos agudos y crónicos en la salud humana y en el medio ambiente. Las principales vías de exposición en los seres humanos son la inhalación y la ingestión.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: En los seres humanos, la exposición aguda por inhalación a altos niveles de Cadmio puede provocar efectos en el pulmón, tales como irritación bronquial y pulmonar, incluye tos, opresión en el pecho, disnea, escalofríos. Una sola exposición aguda a altos niveles de Cadmio puede resultar en un deterioro de la función pulmonar, pudiendo conducir a enfermedades obstructivas crónicas de las vías respiratorias. • Toxicidad crónica: La inhalación crónica o la exposición oral a cadmio pueden provocar efectos en el riñón, hígado, pulmón, hueso, sistema inmunitario, sangre y sistema nervioso. • Efectos cancerígenos: La EPA considera el cadmio como un probable carcinógeno humano (Grupo B1), mientras que la IARC lo clasifica como cancerígeno para los humanos (Grupo 1). Se han observado elevación de cáncer de próstata en hombres, y cáncer de pulmón en personas expuestas ocupacionalmente al Cadmio. Del mismo modo DHHS clasificó el Cadmio y ciertos compuestos de él, como sustancias cancerígenas para humanos.
<p>Fuentes de emisión</p>	<p>El cadmio se emite al suelo, al agua y al aire mediante la extracción y el refinado de metales no ferrosos, la fabricación y aplicación de fertilizantes fosfatados, la combustión de combustibles fósiles y la incineración y eliminación de desechos.</p>
<p>Comportamiento en el medio ambiente</p>	<p>En el medio ambiente, el cadmio existe en un único estado de oxidación (+2) y no sufre reacciones de óxido-reducción. El cadmio no es degradable en la naturaleza y, por lo tanto, una vez liberado al medio ambiente, permanecerá en circulación. Las principales emisiones son a partir de fuentes naturales y de procesos como la combustión de combustibles fósiles, la incineración de desechos municipales o industriales y la aplicación de fertilizantes.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Agua: El cadmio y compuestos son, en comparación con otros metales pesados, relativamente solubles en agua, por lo que son también más móviles. En aguas superficiales y subterráneas, puede existir como ión hidratado o compuestos iónicos complejados con otras sustancias orgánicas o inorgánicas. Las formas solubles de cadmio pueden migrar en agua, mientras que las insolubles se adsorben a sedimentos, aunque la mayor parte se encuentra adsorbido a partículas en suspensión. Por acción de los agentes formadores de complejos puede ser eliminado de los sedimentos y removilizado. Su toxicidad para los peces depende, entre otros factores, del

	<p>contenido de calcio del agua ya que, a mayor contenido de calcio menor será el efecto tóxico del cadmio sobre los peces.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aire: En la atmósfera puede existir en forma de partículas y vapor, debido a acciones como el arrastre de partículas de polvo, erupciones volcánicas, incendios forestales. A través del transporte atmosférico, puede depositarse en suelos y la superficie de las aguas. El Cadmio es resistente a la intemperie, dado que se recubre de una capa de óxido que lo protege. • Suelos y sedimentos: La movilidad del cadmio en el suelo depende de varios factores, como el pH del suelo y la disponibilidad de materia orgánica. La capacidad de retención también depende del contenido de álcalis intercambiables. Debido a que se adsorbe a partículas orgánicas del suelo, casi no se produce lixiviación. El horizonte de acumulación para el Cadmio es la rizosfera (raíces). Suele estar biodisponible y tiende a bioacumularse. • Biota: El cadmio disminuye la tasa de fotosíntesis y transpiración y aumenta la frecuencia respiratoria. Aún pequeñas concentraciones en el suelo conducen a cuadros de lesiones como acortamiento del eje caulinar y un color amarillo intenso en las hojas más viejas. La absorción se produce no sólo por raíz sino también por los brotes y las hojas. Además de disminuir el rendimiento, la mayor amenaza reside en la contaminación de (acumulación) las plantas de cultivo, dado que es así como el Cadmio ingresa a la cadena alimentaria.
<p>Interacción con otros químicos</p>	<p>La toxicidad del cadmio puede verse influenciada por una amplia variedad de otros productos químicos. En los humanos, es probable que las deficiencias dietéticas de calcio, proteínas y vitamina D representen una mayor susceptibilidad a los efectos óseos después de la exposición al cadmio, también, se ha demostrado que la deficiencia de hierro aumenta la absorción gastrointestinal de Cadmio en humanos, mientras que se ha demostrado que la suplementación oral con zinc disminuye la absorción oral de Cadmio. No se encontró otra información sobre la interacción del cadmio con otras sustancias químicas en humanos</p>
<p>Cobertura normativa existente</p>	<p>D.S. 148/2003, D.S. 4/2009, NCh 1333 Riego, NCh 409, D.S. 144/2008, D.S. 143/2008, D.S. 75/2009, D.S. 46/2002, D.S. 90/2000</p>

4.2.5 Cobre

<p>Descripción General</p>	<p>Se trata de un elemento (Cu) que está presente en la naturaleza como metal nativo y en minerales sulfurados como calcopirita, calcosita y cuprita u óxido cuproso natural. Es un metal de transición que se caracteriza por ser uno de los mejores conductores de electricidad y forma parte de una cantidad muy elevada de aleaciones que generalmente presentan mejores propiedades mecánicas.</p>
<p>Toxicidad</p>	<p>El cobre es un poderoso tóxico para los peces. Su concentración activa depende de la calidad del agua, ya que al combinarse con cadmio, zinc y mercurio se potencia aún más su efecto tóxico. Las principales vías de exposición al Cobre son a través de</p>

	<p>la inhalación de polvo y humos de cobre, especialmente en el lugar de trabajo, y a través de la ingestión de comida o agua afectada.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: La inhalación de polvo de cobre puede provocar irritación del tracto respiratorio, con síntomas que incluyen tos, estornudos, dolor torácico y secreción nasal, así como dermatitis de contacto e irritación en los ojos, aunque existen pocos datos sobre la toxicidad dérmica de cobre a corto plazo. Respecto a los efectos gastrointestinales, los efectos más comunes son náuseas y vómitos, que normalmente se producen poco después de la ingestión y no son persistentes. Menos frecuentes son los efectos hepáticos, aunque también se han observado en animales. En las plantas, el cobre inhibe el crecimiento radicular y promueve la formación de numerosas raicillas cortas y de color pardo. Las plantas acuáticas asimilan tres veces más cobre que las plantas terrestres. • Toxicidad crónica: Las principales vías de exposición que pueden dar lugar a efectos crónicos en los seres humanos son la vía de exposición por inhalación, ingestión y contacto dérmico. A través de la vía de exposición por inhalación se pueden producir efectos sistémicos, como náuseas, hepatomegalia, disminución de la hemoglobina y niveles de eritrocitos e irritación respiratoria. También se pueden observar efectos gastrointestinales leves, especialmente en lugares de trabajo con riesgo de exposición a polvo de cobre. Existen numerosos informes de efectos graves para la salud en bebés y niños, como cirrosis hepática, por ingerir leche contaminada con cobre o agua que contiene altos niveles de cobre. Respecto a la vía de exposición por contacto dérmico, no existen suficientes datos para asegurar una relación dosis-respuesta a largo plazo. • Efectos cancerígenos: EPA no ha clasificado al cobre como un carcinógeno humano porque no existen estudios fiables, tanto en seres humanos como en animales. Se necesitan estudios adicionales a través de las vías por inhalación, dérmica y oral, para evaluar el potencial carcinogénico del cobre en el hombre. La IARC tampoco lo clasifica como carcinogénico.
<p>Fuentes de emisión</p>	<p>El cobre puede ingresar al medio ambiente a través de liberaciones de la extracción de cobre y otros metales y de fábricas que fabrican o utilizan cobre metálico o compuestos de cobre. El cobre también puede ingresar al medio ambiente a través de vertederos de desechos, aguas residuales domésticas, combustión de combustibles fósiles y desechos, producción de madera, producción de fertilizantes fosfatados y fuentes naturales (por ejemplo, polvo arrastrado por el viento, de suelos nativos, volcanes, vegetación en descomposición, incendios forestales, etc.) y spray de mar.</p> <p>El cobre se encuentra a menudo cerca de minas, fundiciones, entornos industriales, y vertederos.</p>
<p>Comportamiento en el medio ambiente</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: Los compuestos solubles de cobre en lagos y ríos, tienden a sedimentar, aunque las partículas más finas pueden permanecer en suspensión durante períodos prolongados. Aunque el cobre es un nutriente esencial para los organismos acuáticos, también puede ser tóxico en concentraciones elevadas. En las aguas naturales, el cobre y otros metales

	<p>pueden estar complejados a ligantes orgánicos e inorgánicos, por lo que la concentración del ión metálico libre puede ser de muchos órdenes de magnitud inferiores a la concentración total de metal. El ión de metal libre es más químicamente reactivo que las formas complejadas del metal y, por lo tanto, se cree que es la forma más biológicamente tóxica. El cobre precipita en agua salada, lo que explica el escaso contenido de cobre en este tipo de agua en comparación con el agua dulce. La lluvia ácida aumenta la solubilidad de los minerales de Cobre.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aire: Expuesto al aire húmedo normal, se forma una capa verdosa que protege al cobre metálico de efectos químicos adicionales (corrosión). • Suelos y sedimentos: En los suelos, el cobre se puede encontrar como iones solubles, complejos inorgánicos solubles, complejos orgánicos solubles, formando complejos orgánicos estables, adsorbido por los óxidos de manganeso, hierro y aluminio, adsorbido por la materia orgánica y por las arcillas, y formando parte de las estructuras de los minerales. Los suelos con altos contenidos en materia orgánica toleran altas concentraciones de cobre. La materia orgánica puede adsorber tan fuertemente a algunos metales, como el cobre, que pueden quedar no disponible para las plantas. Por eso algunas plantas de suelos orgánicos, presentan carencia de ciertos elementos como el cobre. • Biota: El cobre produce lesiones en las raíces de las plantas, inhibiendo el crecimiento radicular y promueve la formación de numerosas raicillas. El Cobre se acumula en la corteza de las raíces y en las paredes celulares. Las plantas acuáticas asimilan tres veces más cobre que las plantas terrestres, lo que resulta altamente tóxico.
<p>Interacción con otros químicos</p>	<p>Numerosos estudios han demostrado la interacción entre el cobre y varios otros metales. El zinc dietético afecta fuertemente la absorción de cobre. Una dieta rica en zinc puede provocar una deficiencia de cobre.</p> <p>Varios otros cationes divalentes compiten con el cobre por la absorción intestinal. Exposición a alimentos cadmio, hierro ferroso y estaño puede resultar en una disminución de la absorción de cobre.</p>
<p>Cobertura normativa existente</p>	<p>D.S. 4/2009, NCh 1333 Riego, NCh 409, D.S. 1/2015, D.S. 75/2009, D.S. 46/2002, D.S. 90/2000</p>

4.2.6 Plomo

<p>Descripción General</p>	<p>El plomo es un metal pesado cuyas valencias químicas normales son 2 y 4. Rara vez se encuentra en su estado elemental. Los minerales de plomo se encuentran en muchos lugares del mundo. El mineral más rico es la galena (sulfuro de plomo) y constituye la fuente principal de producción comercial de este metal. Otros minerales de plomo son: la cerusita (carbonato), la anglesita (sulfato), la corcoita (cromato), la wulfenita (molibdato), la piromorfita (fosfato), la mutlockita (cloruro)</p>
-----------------------------------	---

	<p>y la vanadinita (vanadato). En muchos casos, los minerales de plomo pueden contener otros metales tóxicos.</p>
Toxicidad	<p>Los efectos del plomo son los mismos si se ingiere o inhala. Puede afectar a casi todos los órganos y sistemas en el cuerpo. El más sensible es el sistema nervioso, tanto en niños como en adultos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: La exposición a niveles altos de plomo puede dañar seriamente el cerebro y los riñones de niños y adultos y causar la muerte. En mujeres embarazadas, la exposición a niveles altos de plomo puede producir pérdida del embarazo. En hombres, la exposición a altos niveles puede alterar la producción de espermatozoides. • Toxicidad crónica: La exposición prolongada de adultos puede causar un deterioro en el resultado de algunas pruebas que miden funciones del sistema nervioso. También puede producir debilidad en los dedos, las muñecas o los tobillos. La exposición al plomo también produce un pequeño aumento de la presión sanguínea, especialmente en personas de mediana edad y de edad avanzada, y puede causar anemia. • Efectos cancerígenos: El DHHS y la IARC (Grupo 2B) han determinado que el plomo es probablemente carcinogénico en seres humanos. Existe riesgo significativo de cáncer global (estómago, pulmones, y cáncer de vejiga). Pero no cáncer del pulmón. • Efectos cancerígenos teratogénicos y mutagénicos: El plomo puede entrar en el feto a través de la placenta de la madre. Debido a esto puede causar serios daños al sistema nervioso y al cerebro de los niños por nacer.
Fuentes de emisión	<p>El plomo (Pb) es un elemento que se encuentra en depósitos de mineral de Pb concentrados y de fácil acceso que están ampliamente distribuidos en todo el mundo. Una fuente importante de Pb en el medio ambiente ha sido históricamente las emisiones antropogénicas a la atmósfera por la combustión de gasolina con plomo, que actualmente no se usa. Las pinturas a base de Pb que se deterioran a partir de superficies desgastadas (que producen polvos y desechos de Pb muy concentrados) en las viviendas más antiguas sigue siendo una fuente de intoxicación por Pb.</p> <p>La combinación de agua corrosiva y tuberías de Pb o juntas soldadas con Pb en el sistema de distribución o en casas individuales puede crear zonas localizadas de altas concentraciones de Pb en agua. Otras fuentes antropogénicas de Pb han incluido la extracción y fundición de minerales; fabricación y uso de productos que contienen Pb (por ejemplo, pinturas, pigmentos y esmaltes a base de Pb; blindaje eléctrico; fontanería; baterías de almacenamiento; soldaduras y fundentes de soldadura); fabricación y aplicación de plaguicidas que contienen Pb; combustión de carbón y petróleo; e incineración de desechos.</p>
Comportamiento en el medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: La química del Plomo en solución acuosa es muy compleja, porque este elemento se puede encontrar en múltiples formas. El plomo tiene una tendencia a formar compuestos de baja solubilidad con los aniones principales que se encuentran en las aguas naturales.

	<ul style="list-style-type: none"> • Aire: En la atmósfera, compuestos no orgánicos de plomo existen principalmente en forma particulada. Una vez en la atmósfera, las partículas de plomo se dispersan y al final son removidas de la atmósfera por deposición seca o húmeda. • Suelos y sedimentos: El destino del plomo en el suelo está afectado por la adsorción de interfaces minerales, la precipitación de formas sólidas solubles del compuesto y la formación de complejos orgánicos metálicos relativamente estables. Por otro lado, cuando los compuestos orgánicos de Plomo se depositan en el suelo les ocurren una serie de reacciones, resultando en una compleja variedad de compuestos de plomo. • Biota: El plomo afecta los procesos fisiológicos en cultivos (maíz y frijol) y sus efectos se reflejan en los procesos de imbibición, germinación y crecimiento de órganos como las raíces, tallos y hojas. A concentraciones bajas no hay afectaciones en la viabilidad de las plantas, lo cual a la vez es preocupante por la posibilidad de la presencia de Plomo en tejidos comestibles.
Interacción con otros químicos	Es relativamente resistente al ataque de ácido sulfúrico y ácido clorhídrico, aunque se disuelve con lentitud en ácido nítrico y ante la presencia de bases nitrogenadas. El plomo es anfótero ya que puede reaccionar como ácido o como base. Tiene la capacidad de formar muchas sales, óxidos y compuestos organometálicos. Se puede añadir otros metales como el Antimonio, Arsénico, Estaño y Bismuto para mejorar sus propiedades mecánicas o químicas y, Latón, Bronce o Acero con el fin de lograr determinadas características.
Cobertura normativa existente	D.S. 148/2003, D.S. 4/2009, NCh 1333, NCh 409, D.S. 144/2008, D.S. 143/2008, D.S. 53/2013, D.S. 75/2009, D.S. 46/2002, D.S. 90/2000, D.S. 136/2000

4.2.7 Níquel

Descripción General	El níquel es un elemento natural muy abundante. Es un metal duro, blanco-plateado que puede combinarse con otros metales, tales como el hierro, cobre, cromo y cinc para formar aleaciones. Sus principales usos son galvanizados, la fabricación de cintas magnéticas y componentes informáticos, varillas para soldadura al arco eléctrico, prótesis quirúrgicas y dentales, baterías de níquel-cadmio, pigmentos para pinturas (como el amarillo de titanato de níquel), moldes para recipientes cerámicos y de vidrio.
Toxicidad	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: La toxicidad aguda del níquel se produce mayoritariamente por vía respiratoria. Se conocen casos de neumonitis aguda o subaguda, con insuficiencia córtico-suprarrenal, así como de edema pulmonar, ocasionados por la exposición a humos de níquel. También existen casos de envenenamiento agudo por inhalación de vapor tóxico de carbonilo de níquel. • Toxicidad crónica: Una exposición prolongada con la piel puede causar dermatitis sensible, posible destrucción y/o ulceración, así como, rinitis y

	<p>sinusitis crónica con anosmia y perforación nasal por inhalación de aerosoles solubles de níquel. A pesar de que el níquel y sus sales no se absorben a través de la piel en cantidad suficiente para producir intoxicaciones; las reacciones que más se observan, siendo típicas y familiares, son la dermatitis y la sensibilización cutánea.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Efectos cancerígenos: La IARC ha determinado que algunos compuestos de níquel son carcinogénicos en seres humanos y que el níquel metálico es posiblemente carcinogénico en seres humanos (Grupo 2B). La EPA ha determinado que los polvos de refinerías de Níquel y el subsulfuro de níquel son carcinogénicos en seres humanos. Sin embargo, los compuestos metálicos de níquel no han mostrado evidencias suficientes de cáncer en humanos. Se ha observado un aumento en la tasa de mortalidad por cáncer de pulmón y de las cavidades nasales también hay una mayor incidencia de otro tipo de tumores malignos, como carcinomas de la laringe, riñón, próstata o estómago y sarcoma de tejidos blandos.
<p>Fuentes de emisión</p>	<p>El níquel es liberado al ambiente en chimeneas de hornos para la fabricación de aleaciones, plantas de energía e incineradores de basura. Por otra parte, puede ser liberado en aguas residuales industriales hacia cuerpos de agua. Es importante considerar que el níquel se encuentra en mayor medida en el aire, el suelo, los sedimentos y rocas, de manera adherida al polvo y la tierra, pero no es incorporado fácilmente por plantas o animales. En el agua este puede estar disuelto o adherido a materia suspendida en el agua.</p>
<p>Comportamiento en el medio ambiente</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: En el agua y en aguas residuales, el níquel puede estar disuelto o adherido a materia en suspensión. En altas concentraciones afecta a la supervivencia, el crecimiento y la reproducción de los organismos acuáticos. • Aire: El Níquel en el aire está adherido a partículas pequeñas de polvo que se depositan en el suelo o son removidas del aire con la lluvia o la nieve. Generalmente tarda días en ser removido del aire. Si el níquel se adhiere a partículas muy pequeñas, puede tardar más de un mes en depositarse en el suelo. Usualmente lleva un largo periodo de tiempo para que el níquel sea eliminado del aire. • Suelos y sedimentos: La mayor parte del níquel liberado al ambiente termina en el suelo o en sedimentos, en donde se adhiere fuertemente a partículas que contienen hierro o manganeso. Las condiciones ácidas favorecen la movilización del níquel en el suelo y facilitan su filtración hacia el agua subterránea. El níquel no parece concentrarse en peces. Hay estudios que demuestran que algunas plantas pueden incorporar y acumular Níquel. • Biota: El aumento de Níquel ocasiona severas disminuciones en el crecimiento de las plantas, la fotosíntesis se ve afectada, el contenido de clorofilas y la absorción y acumulación de nutrimentos cationes divalentes en la etapa vegetativa.
<p>Interacción con otros químicos</p>	<p>El Níquel puede combinarse con otros elementos, como por ejemplo cloro, azufre y oxígeno para formar compuestos de níquel. Se ha reportado reacciones cruzadas entre níquel y cobalto; como también con otros metales como hierro, cromo, magnesio, manganeso, zinc y cadmio.</p>

Cobertura normativa existente	D.S. 4/2009, NCh 1333: Riego, D.S. 53/2013, D.S. 75/2009, D.S. 46/2002, D.S. 90/2000
--------------------------------------	--

4.2.8 Selenio

Descripción General	El selenio es un elemento mineral natural, ampliamente distribuido en la naturaleza en la mayoría de las rocas y suelos. En la naturaleza generalmente está combinado con sulfuro o con minerales de plata, cobre, plomo y níquel. Se usa con diversos fines, su derivado, el Selenio de Amonio, por ejemplo, se ocupa en la fabricación de vidrio y el Sulfuro de Selenio, se usa en lociones y champús como tratamiento para la dermatitis.
Toxicidad	<p>El grado de toxicidad depende de la forma química del selenio. La toxicidad en los seres humanos por la exposición al selenio elemental o sales de Selenio es rara. La exposición a ácidos o dióxido de selenio puede ser muy tóxica.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: La ingestión de ácido de selenio causa daños corrosivos en el tracto intestinal, estupor, depresión respiratoria, hipotensión y muerte. La inhalación de altas concentraciones de seleniuro de hidrógeno produce intensa irritación de las vías respiratorias y sabor metálico en la boca seguida de bronconeumonía y edema pulmonar. La inhalación de cenizas o humos de selenio están asociados a irritación en el tracto respiratorio. La inhalación de dióxido de selenio puede causar signos y síntomas de fiebre de humos metálicos. La exposición vía contacto dérmico al dióxido de selenio u oxiclورو de selenio produce dermatitis y quemaduras en la piel. • Toxicidad crónica: La selenosis crónica es rara, pero ha sido detectada tras la ingestión de comidas ricas en selenio. Se manifiestan por cambios morfológicos en las uñas de las manos, alopecia, lesiones en la piel, caída de dientes y desórdenes neurológicos. La inhalación crónica de seleniuro de hidrógeno está asociado a diarreas crónicas, dolor abdominal, sabor metálico en la boca y cambios en las uñas. • Efectos cancerígenos: La IARC (Grupo 3) y la EPA han concluido que el selenio no puede ser clasificado respecto a su carcinogenicidad para el hombre.
Fuentes de emisión	El selenio se encuentra naturalmente en el medio ambiente, se produce desde el desgaste de las rocas y suelo; que pueden originar bajos niveles en agua y plantas. Una fuente natural del selenio son las erupciones volcánicas, similar a la quema de carbón y petróleo que libera selenio a la atmósfera. Algunas otras fuentes particulares de selenio reportadas son la manufactura de pintura, procesos de recuperación de selenio e industrias metalúrgicas.
Comportamiento en el medio ambiente	El comportamiento del selenio en el medio ambiente está influenciado en gran medida por su estado de oxidación y consecuentes diferencias en el comportamiento de sus diferentes compuestos químicos.

	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: Las formas de selenio que se espera encontrar en la superficie del agua y en el agua contenida en los suelos son las sales y ácidos de selenio. Es bioacumulado por organismos acuáticos y hay evidencias de que el selenio podría biomagnificarse en organismos acuáticos bajo condiciones naturales. La biomagnificación se evidencia por el progresivo aumento de concentración de un elemento o sustancia en organismos en niveles tróficos más elevados. En general las formas de selenio más solubles y móviles (p.ej. selenita y selenato) dominan bajo condiciones aeróbicas y alcalinas. • Aire: Los compuestos volátiles del Selenio presentes en la atmósfera, incluyen compuestos inorgánicos, dióxido de selenio, seleniuro de hidrógeno y compuestos orgánicos, dimetil seleniuro y dimetil diseleniuro. El seleniuro de hidrógeno es altamente radiactivo en el aire y es rápidamente oxidado a selenio elemental y agua, pero los otros compuestos pueden persistir en la atmósfera. Los compuestos de selenio liberados en la atmósfera pueden ser removidos por deposición seca o húmeda a los suelos y a las superficies acuosas. • Suelos y sedimentos: Los metales y sulfuros de selenio pesados, que también son insolubles, predominan en suelos ácidos (pH bajos) y en suelos con alto contenido en materia orgánica. El selenio en estas condiciones es inmóvil y permanece en el suelo. Los seleniuros de otros metales como el cobre y el cadmio son de baja solubilidad. Los selenitas de sodio y el potasio predominan en suelos neutros y bien drenados. En suelos alcalinos (pH>7,5) y bien oxigenados, los selenatos son las especies más abundantes. Debido a su elevada solubilidad y baja tendencia a adsorberse en partículas del suelo, los selenatos son muy móviles y son fácilmente absorbidos por los sistemas biológicos o lixiviados a través del suelo. • Biota: el selenio muestra efectos duales, es decir, a bajas concentraciones actúa como un estimulante del crecimiento mientras que a elevadas concentraciones reduce la elongación de las raíces y la producción de biomasa, alterando la absorción y translocación de otros nutrientes.
Interacción con otros químicos	El selenio puede combinarse con el oxígeno en procesos de combustión, donde el producto formado puede reaccionar con el agua para formar compuestos solubles de selenio. Por otro lado, se ha reportado interacciones del selenio con diversos químicos como arsénico, cadmio, fluoruro, yodo, mercurio, plata y sulfatos, entre otros.
Cobertura normativa existente	D.S. 148/2003, D.S. 4/2009, NCh 1333: Riego, NCh 409, D.S. 75/2009, D.S. 46/2002, D.S. 90/2000

4.2.9 Zinc

Descripción General	El zinc (Zn) es un metal, a veces clasificado como metal de transición, aunque estrictamente no lo sea. Es posible encontrarlo en depósitos sedimentario de yacimientos primarios. Sus usos principales son de aleación para piezas de fundición, como protección superficial (galvanizado o cincado) de chapas y alambres de hierro,
----------------------------	---

	<p>fabricación de maquinarias y en la industria química es usado como agente de reducción.</p>
<p>Toxicidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: La ingestión de cantidades considerables de sales de zinc produce lesiones, se pueden sufrir intoxicaciones agudas por Zinc al consumir alimentos ácidos conservados por largo tiempo en recipientes de este material. • Toxicidad crónica: Por la inhalación de vapores de óxido de Zinc se contrae la fiebre de los fundidores que presenta los siguientes síntomas: fiebre, dolores, decaimiento, escalofríos y abundante transpiración • Efectos cancerígenos: La EPA y la IARC han clasificado el zinc como no cancerígeno para los humanos.
<p>Fuentes de emisión</p>	<p>El zinc ingresa al aire, al agua y al suelo como resultado de procesos naturales y actividades humanas. La mayor parte del zinc ingresa al medio ambiente como resultado de la extracción, la purificación de minerales de zinc, plomo y cadmio, la producción de acero, la quema de carbón y la quema de desechos. Estas actividades pueden aumentar los niveles de zinc en la atmósfera.</p> <p>Las corrientes de desechos de la fabricación de zinc y otros metales y las industrias químicas del zinc, las aguas residuales domésticas y la escorrentía del suelo que contiene zinc pueden descargar zinc en las vías fluviales. El nivel de zinc en el suelo aumenta principalmente por la eliminación de desechos de zinc de industrias de fabricación de metales y cenizas de carbón de las empresas eléctricas. Lodos y fertilizantes también contribuyen a aumentar los niveles de zinc en el suelo</p>
<p>Comportamiento en el medio ambiente</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: En las aguas naturales, el Zinc puede encontrarse en varias formas químicas, tales como iones hidratados, metales-inorgánicos complejos o metales orgánicos complejos, lo cual aumenta la movilidad y la solubilidad. También puede formar complejos orgánicos estables, por ejemplo, con ácidos húmicos y fúlvicos. El zinc puede también incrementar la acidez de las aguas. Si el pH es mayor a 8.0, el zinc puede precipitar. Debido a la fina capa de óxido que se recubre, el Zinc permanece estable en agua dulce como agua salada. • Aire: El zinc se encuentra en la atmósfera fundamentalmente unido a partículas de aerosol. El tamaño de la partícula depende de la fuente de emisión del zinc. Al contacto con el aire se forma en la superficie del metal una tenue capa incolora de óxidos y carbonatos básicos, que impiden que continúe reaccionando. El transporte y la distribución del Zinc atmosférico varían en función del tamaño de las partículas y de las propiedades de los compuestos de zinc correspondientes. Se elimina de la atmósfera mediante deposición seca y húmeda. El zinc que se adsorbe sobre partículas con densidad y diámetro bajos puede recorrer largas distancias. • Suelos y sedimentos: La forma soluble del zinc en soluciones de suelos es el Zn²⁺. Parte de él puede ser adsorbido por las arcillas, la materia orgánica y los hidróxidos de hierro y aluminio. Cuando la solución se satura precipita con los hidróxidos, carbonatos, fosfatos, sulfuros, molibdatos y con otros aniones, como los humatos, pero en general la unión al complejo de cambio es más estable que cualquier compuesto mineral. Como se adsorbe sobre

	<p>arcillas y materiales orgánicos, es poco probable que pueda separarse del suelo por lixiviación. Suelos arenosos y ácidos con contenido en materia orgánica baja son apenas capaces de retener el zinc. El zinc soluble en agua que está localizado en el suelo puede contaminar el agua subterránea.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biota: El zinc produce necrosis y clorosis e inhibe el crecimiento. La fitotoxicidad predomina sobre los efectos adversos que el Zinc produce en otros organismos.
Interacción con otros químicos	Se dispone de numerosos estudios que han demostrado la interacción entre cobre y varios metales. Las aleaciones de Zinc contienen sobre todo Al y Cu, ambos metales aumentan considerablemente la consistencia del Zinc. El agregado de Mg (hasta un 0,05%) aumenta su resistencia a la corrosión
Cobertura normativa existente	D.S. 4/2009, NCh 1333 Riego, NCh 409, D.S. 1/2015, D.S. 75/2009, D.S. 46/2002, D.S. 90/2000

4.2.10 Cromo (VI)

Descripción General	<p>El cromo es un metal blanco, plateado, duro y quebradizo, de transición. El Cromo elemental no se encuentra en la naturaleza, siendo su mineral más importante por abundancia la cromita. Sus principales usos son la producción de aleaciones anticorrosivas de gran dureza y resistente al calor y recubrimiento para galvanizado</p> <p>Su estado de oxidación más alto es el +6, aunque estos compuestos son muy oxidantes. Los estados de oxidación +4 y +5 son poco frecuentes, mientras que los estados más estables son +2 y +3. También es posible obtener compuestos en los que el cromo presente estados de oxidación más bajos, pero son bastante raros.</p>
Toxicidad	<p>No se considera que el cromo metal y los compuestos de cromo (III) sean especialmente un riesgo para la salud; se trata de un elemento esencial para el ser humano, pero en altas concentraciones resulta tóxico. Los compuestos de cromo (VI) son tóxicos si son ingeridos, siendo la dosis letal de unos pocos gramos. En niveles no letales, el Cr (VI) es carcinógeno.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: La ingesta de una sal de cromo produce vómitos, dolores abdominales, diarreas, y hemorragias intestinales. Se han descrito casos de muerte, por colapso cardiocirculatorio; si se sobrevive, puede aparecer una insuficiencia renal aguda debido a necrosis tubular aguda. También puede ocasionar un fallo hepático, coagulopatía, hemólisis intravascular y lesiones renales. • Toxicidad crónica: El contacto cutáneo con compuestos hexavalentes de Cromo puede producir dermatitis de contacto y úlceras no dolorosas, que suelen afectar al dorso de las manos y los dedos. La exposición a los compuestos hexavalentes de Cromo se relaciona con cuadros de bronquitis y de asma. También pueden producir ulceraciones y perforaciones del septum nasal. A diferentes compuestos de Cromo y procesos industriales donde es utilizado, se les relaciona con una mayor incidencia de cáncer de pulmón y de

	<p>senos paranasales, presencia de mutaciones en el tracto gastrointestinal, hígado, glándula tiroidea y médula ósea.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Efectos cancerígenos: El DHHS, la IARC (Grupo 1) y la EPA han determinado que los compuestos de cromo (VI) son carcinogénicos en seres humanos.
<p>Fuentes de emisión</p>	<p>El cromo es un elemento que ocurre naturalmente en rocas, animales, plantas y en el suelo. También es liberado al medio ambiente por industrias que utilizan cromo, tales como industrias involucradas en galvanoplastia, curtido de cuero, producción de textiles y en la manufactura de productos en base a cromo. El cromo también puede ser liberado al medio ambiente mediante la combustión de gas natural, petróleo o carbón. Otra fuente de emisión de cromo es el humo del tabaco.</p>
<p>Comportamiento en el medio ambiente</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: Los compuestos de cromo no se volatilizan desde el agua. La mayor parte del cromo que llega al agua será depositado en el sedimento. Un pequeño porcentaje se presenta tanto en forma soluble como insoluble. En los sistemas acuáticos, la toxicidad de los compuestos solubles del cromo varía según la temperatura, pH y dureza del agua, y según las especies de organismos que los pueblan. Los compuestos del cromo (VI) se disuelven con facilidad, pero en condiciones naturales y en presencia de materia orgánica oxidable, se reducen rápidamente a compuestos cromo (III) más estables y menos hidrosolubles. • Aire: El cromo está presente en el aire principalmente en forma particulada; formas gaseosas de cromo son raras de forma natural. Las partículas son depositadas sobre el suelo o sobre el agua vía deposición húmeda o seca. • Suelos y sedimentos: La movilidad del Cromo en el suelo solamente puede evaluarse si se consideran la capacidad de adsorción y reducción de los suelos y de los sedimentos. Los hidróxidos de cromo (III), una vez sedimentados y fijados en el sedimento acuático, difícilmente vuelven a moverse, dado que la oxidación de los compuestos de cromo (III) para formar compuestos de cromo (VI) prácticamente no ocurre en forma natural. En muchos suelos, el cromo se presentará predominantemente como cromo (III). Esta forma tiene baja solubilidad y baja reactividad por lo que tiene baja movilidad y baja toxicidad para los organismos. Bajo condiciones oxidantes, el cromo (VI) puede estar presente en el suelo en forma de iones, siendo relativamente soluble, móvil y tóxico para los organismos del suelo. • Biota: En las plantas se conocen, entre otras, lesiones en el sistema radicular, originadas principalmente por el cromo (VI). Los efectos tóxicos van desde raíces sin desarrollo, hojas de forma angosta con color pardo-rojiza y pequeñas manchas necróticas.
<p>Interacción con otros químicos</p>	<p>Los compuestos de cromo (VI) potenciaron el efecto del cloruro de mercurio sobre la absorción de ácidos orgánicos. La combinación de dicromato de potasio con ácido maleico podría aumentar el daño al borde en cepillo de los túbulos renales proximales o el daño a las células luminales por el dicromato de potasio podría permitir que el ácido maleico entre más fácilmente en las células.</p> <p>Varios estudios indican un aumento de los efectos mutagénicos de los compuestos de cromo (VI) en combinación con otras sustancias químicas. Se ha observado sinergia entre el cromo (VI) y la 9-aminoacridina, el ácido nitrilotriacético y la azida.</p>

	Otros químicos y factores que interactúan con el cromo son: etanol, selenio, luz ultravioleta y ozono, de acuerdo con estudios realizados en ratas.
Cobertura normativa existente	D.S. 148/2003, NCh 1333: Riego, NCh 409, D.S. 144/2008, D.S. 143/2008, D.S. 1/2015, D.S. 53/2013, D.S. 75/2009, D.S. 46/2002, D.S. 90/2000

4.2.11 Mercurio

Descripción General	Principalmente, el mercurio se encuentra presente en la naturaleza como mercurio elemental, en estado tanto líquido como gaseoso; así como formando compuestos inorgánicos y orgánicos de mercurio. Los usos más importantes del mercurio metálico y sus compuestos inorgánicos son: el tratamiento de los minerales de plata y oro, la fabricación de amalgamas, la fabricación y reparación de aparatos de medición o de laboratorio, la fabricación de bombillas eléctricas incandescentes, tubos con vapor de mercurio, válvulas de radio, tubos de rayos X.
Toxicidad	<p>El mercurio sólido como metal puro no es tóxico para el ser humano y, por lo tanto, no implica amenaza alguna. No obstante, se debe prestar particular atención a los vapores de mercurio, así como a la contaminación del agua. La determinación del riesgo que implican los compuestos de mercurio depende de las propiedades de cada sustancia en particular. Para los seres humanos y los mamíferos, la vía principal de exposición al mercurio elemental es la inhalación. Se reabsorbe casi completamente por vía pulmonar.</p> <ul style="list-style-type: none"> <p>Toxicidad aguda: En función de la forma en la que esté disponible el Mercurio, se pueden detectar los siguientes efectos tóxicos:</p> <p><i>-Mercurio elemental:</i> Se han observado trastornos neurológicos y de comportamiento en las personas tras la inhalación de vapor de mercurio elemental. Los principales sistemas afectados por la inhalación humana de mercurio elemental son los riñones y el sistema nervioso central. La exposición aguda a altos niveles de mercurio elemental en los seres humanos provoca efectos tales como temblores, irritabilidad, insomnio, pérdida de memoria, cambios neuromusculares, dolores de cabeza, reducción de la función nerviosa sensorial y motor y la reducción en la función cognitiva, así como efectos en el riñón desde leves a insuficiencia renal aguda. También se han observado efectos gastrointestinales y respiratorios, tales como dolores de pecho, disnea, tos, deterioro de la función pulmonar y neumonitis intersticial de la exposición humana por inhalación a mercurio elemental.</p> <p><i>-Compuestos inorgánicos del mercurio:</i> Se observan efectos tóxicos a través de las vías de exposición por inhalación, ingestión y contacto dérmico. Las sales de mercurio producen lesiones en la piel y en las mucosas, debido a su baja volatilidad. La ingestión de sales produce inflamación de la garganta, dificultades para deglutir, mareos, vómitos, dolor de estómago, diarrea sanguinolenta, colapso circulatorio y shock. También se produce</p>

	<p>tumefacción de las glándulas salivales, aflojamiento dental e inflamación hepática y renal. Se han observado trastornos neurológicos y de comportamiento en las personas, tras la ingestión o la aplicación cutánea de medicamentos que contenían mercurio inorgánico, y la ingestión de alimentos contaminados. El mercurio elemental se puede oxidar en el organismo a su forma inorgánica. Tras la exposición al mercurio elemental o a compuestos inorgánicos de mercurio, la vía principal de excreción es la urinaria.</p> <p><i>-Compuestos orgánicos del mercurio:</i> Los compuestos orgánicos del mercurio suelen ser mucho más tóxicos que los inorgánicos. Por otra parte, la intoxicación aguda por compuestos orgánicos produce síntomas completamente diferentes. En especial, la intoxicación producida por alquiloderivados de cadena corta, tales como el metil mercurio o el etil mercurio, solamente se reconoce después de algún tiempo (exceptuando el temblor patológico); generalmente pasando semanas enteras después de la absorción. La inhalación a altos niveles de metil-mercurio, ha dado lugar a graves efectos del sistema nervioso central, incluyendo ceguera, sordera y nivel de deterioro de la conciencia en el ser humano.</p> <ul style="list-style-type: none">• Toxicidad crónica:<ul style="list-style-type: none"><i>-Mercurio elemental:</i> El principal sistema afectado en los seres humanos es el sistema nervioso central. Entre los principales efectos se incluyen mayor excitabilidad, irritabilidad, timidez excesiva, insomnio, salivación severa, gingivitis y temblores. La exposición crónica a mercurio elemental también afecta al riñón.<i>-Compuestos inorgánicos de mercurio:</i> El principal efecto de la exposición oral prolongada a cantidades pequeñas de compuestos inorgánicos de mercurio son las lesiones renales. También puede darse hipersensibilidad de las plantas de los pies y palmas de las manos con hormigueo y erupción eritematosa. Se han relacionado asimismo las formas de mercurio inorgánico con efectos inmunitarios. Sin embargo, la ausencia de datos fiables impide la interpretación definitiva del potencial inmunotóxico de las formas inorgánicas de mercurio. La intoxicación crónica conduce a trastornos del sistema nervioso central y los síntomas son apatía, falta de memoria, extrema irritabilidad y temblor generalizado.<i>-Compuestos orgánicos de mercurio:</i> El principal efecto de la exposición crónica a metil-mercurio en los seres humanos es el daño al sistema nervioso central. Los primeros efectos son síntomas tales como parestesia, visión borrosa y malestar general. Efectos en dosis más altas incluyen sordera, dificultades en el habla y la constricción del campo visual.• Efectos cancerígenos:
--	--

	<p>-<i>Mercurio elemental</i>: La EPA ha catalogado el mercurio elemental como no clasificable como carcinógeno humano. El mercurio inorgánico no está clasificado como carcinogénico (Grupo 3) por la IARC.</p> <p>-<i>Compuestos inorgánicos de mercurio</i>: La EPA ha clasificado el mercurio inorgánico compuesto, cloruro de mercurio, como posible carcinógeno humano.</p> <p>-<i>Compuestos orgánicos de mercurio</i>: No hay estudios disponibles sobre los efectos cancerígenos de metil-mercurio en los seres humanos. La EPA ha clasificado el metil-mercurio como posible carcinógeno humano.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Efectos cancerígenos teratogénicos y mutagénicos: <p>-<i>Compuestos orgánicos de mercurio</i>: Se ha observado que la exposición oral a metil-mercurio puede producir efectos importantes sobre el desarrollo en seres humanos. Los bebés nacidos de mujeres que ingieren altas concentraciones de metilmercurio exhiben efectos en el sistema nervioso central, tales como la ataxia, sordera, retraso mental, constricción del campo visual, ceguera y parálisis cerebral, retrasos en el desarrollo y reflejos anormales. El metil mercurio se disuelve fácilmente en la grasa y atraviesa la barrera sangre-cerebro y la placenta. Tiene potencial mutágeno y teratógeno (sustancia probadamente nociva para los fetos). Está clasificado como Grupo 2B por la IARC.</p>
<p>Fuentes de emisión</p>	<p>El mercurio es un metal natural que se encuentra en el medio ambiente. El mercurio ingresa al medio ambiente como resultado de la descomposición normal de los minerales en las rocas y el suelo debido a la exposición al viento y al agua, y a la actividad volcánica. Las liberaciones de mercurio de fuentes naturales se han mantenido relativamente constantes en la historia reciente, lo que ha dado lugar a un aumento constante del mercurio ambiental. Las actividades humanas desde el comienzo de la era industrial (por ejemplo, la minería, la quema de combustibles fósiles) han dado lugar a una liberación adicional de mercurio al medio ambiente.</p> <p>Aproximadamente el 80% del mercurio liberado por las actividades humanas es mercurio elemental liberado al aire, principalmente de la combustión de combustibles fósiles, la minería y la fundición, y de la incineración de desechos sólidos. Aproximadamente el 15% del total se libera al suelo a partir de fertilizantes, fungicidas y desechos sólidos urbanos (por ejemplo, de desechos que contienen baterías, interruptores eléctricos o termómetros desechados). Un 5% adicional se libera de las aguas residuales industriales al agua en el medio ambiente.</p>
<p>Comportamiento en el medio ambiente</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: El mercurio en las aguas naturales, se puede encontrar en diversas formas fisicoquímicas como metal, ión metálico o ión organometálico. Las características específicas de cada especie, así como las interacciones de las mismas con lo que las rodea, determina el transporte, las transformaciones químicas, así como los posibles mecanismos de eliminación, como la sedimentación o la volatilización del mercurio, una vez que ha sido introducido en el sistema acuático. En los medios aeróbicos, el mercurio se

	<p>encuentra en forma iónica libre Hg^{+2}, formando compuestos orgánicos o inorgánicos. En las zonas anóxicas y bajo la presencia de iones S^{2-}, se forman complejos con el ión Hg^{+2}, e incluso puede llegar a precipitar como HgS. Otras bacterias, son capaces de transformar el mercurio iónico a metil y dimetilmercurio tanto en la zona óxica como en la anóxica. Este fenómeno procura otra vía de escape del mercurio hacia la atmósfera, pues el dimetilmercurio es muy volátil. El mercurio inhibe la actividad metabólica de los microorganismos y suprime de este modo la capacidad de autodepuración del agua y se adsorbe en sedimentos y en partículas en suspensión.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aire: La mayor parte del mercurio en la atmósfera se encuentra en fase vapor, esencialmente como mercurio elemental Hg^0. En la atmósfera, una pequeña proporción del mercurio en fase vapor será oxidado fotoquímicamente, transformándolo en un compuesto soluble en agua que puede ser recogido en forma de partícula y depositado por deposición húmeda o seca. El mercurio en la forma de aerosol es mucho más fácilmente arrastrado por el agua de lluvia que el mercurio gaseoso. • Suelos y sedimentos: Las formas de mercurio en suelos son Hg, Hg^{2+} y Hg^{22+}, dependiendo de las condiciones de oxidación-reducción, siendo las dos primeras las formas más frecuentes. El mercurio es degradado por microorganismos (biometilación) o se oxida formando Hg^{2+}. La metilación produce metilmercurio en una reacción que es favorecida por valores de pH altos. El dimetil mercurio, que solamente se forma químicamente (metilación química), escapa a la atmósfera y se descompone formando mercurio elemental. • Biota: En condiciones naturales, la contaminación por mercurio produce un estrés en la planta completa, desencadenando altos índices de mortalidad y disminuyendo el crecimiento.
<p>Interacción con otros químicos</p>	<p>Como ocurre con muchos otros metales, tanto tóxicos como no tóxicos, existen interrelaciones que pueden influir y alterar la absorción, distribución, excreción y toxicidad de uno o más de los metales componentes. Por ejemplo, el estado del zinc de un individuo puede afectar la toxicidad del mercurio.</p>
<p>Cobertura normativa existente</p>	<p>D.S. 148/2003, D.S. 4/2009, NCh 1333, NCh 409, D.S. 144/2008, D.S. 143/2008, D.S. 75/2009, D.S. 46/2002, D.S. 90/2000</p>

4.2.12 Talio

<p>Descripción General</p>	<p>El talio es un metal parecido al estaño, pero se decolora expuesto al aire. Se caracteriza por su elevada toxicidad. Es un metal blando y maleable, y es posible encontrarlo asociado a potasio en arcillas, suelos y granitos. Sus compuestos son usados en la industria óptica, en la electrónica por su conductividad y en la industria médica, para la identificación de tumores óseos. Debido a su gran toxicidad fue usado en muchos países como raticida y para controlar hormigas.</p>
-----------------------------------	---

<p>Toxicidad</p>	<p>El talio se puede absorber por inhalación del aerosol, a través de la piel y por ingestión. La sustancia es tóxica para los organismos acuáticos y humanos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: El talio puede causar efectos en el sistema nervioso central y periférico, hígado, riñón, tracto gastrointestinal, piel y en el sistema cardiovascular, dando lugar a polineuritis, atrofia del nervio óptico, encefalopatías, alteraciones cardíacas, daño en el hígado y riñón y alopecia. La exposición puede producir la muerte. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Algunos efectos son irritación de piel por contacto. • Toxicidad crónica: La sustancia puede afectar a la visión, sistema nervioso, piel, corazón, tracto gastrointestinal. Los efectos de ingerir bajos niveles de talio por largo tiempo no se conocen. • Efectos cancerígenos: Ni el DHHS, la IARC, o la EPA han clasificado al talio en cuanto a su carcinogenicidad en seres humanos.
<p>Fuentes de emisión</p>	<p>El talio es emitido por plantas termoeléctricas a carbón, fábricas de cemento y fundiciones. Por otro lado, el humo de cigarro es una fuente de talio, como también antiguos venenos para ratas. Otra posible fuente de talio son los sitios con desechos peligrosos, que pueden emitir talio a cuerpos de agua superficial y agua subterránea.</p>
<p>Comportamiento en el medio ambiente</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: El Talio existe en el agua principalmente como un ion monovalente (Tl⁺) ya que el trivalente (Tl³⁺) se oxida en agua. Tl⁺ forma complejos en solución con halógenos, oxígeno y sulfuro y precipita como fases minerales sólidos. Sin embargo, el cloruro de talio, sulfato, carbonato, bromuro e hidróxido son muy solubles en agua. Se conoce poco acerca de las transformaciones del talio en el agua por procesos abióticos y bióticos. Los datos pertinentes en relación con la fotólisis o hidrólisis de los compuestos comunes de Talio no se han localizado. • Aire: El talio es un metal pesado no volátil y si es liberado en la atmósfera puede existir como óxido, hidróxido, sulfato y sulfuro. Estos compuestos no son volátiles. Los óxidos son menos solubles y sólo son sometidos a dispersión atmosférica y deposición gravitacional, pero esto no se ha corroborado. El talio metálico se oxida muy lentamente en el aire y el cloruro de talio es foto sensitivo. Sin embargo, no hay evidencia de que el talio se transforme significativamente por reacciones fotoquímicas en la atmósfera. • Suelos y sedimentos: Los coeficientes de adsorción del talio en el suelo no pueden ser calculados a priori, deben ser medidos para cada adsorbente. No hay evidencia de que el talio sea biotransformado en el medio ambiente. • Biota: Tiene efectos negativos en las plantas como el cambio de color en hojas y la disminución del crecimiento.
<p>Interacción con otros químicos</p>	<p>El talio se oxida fácilmente en el aire, forma un hidróxido con el agua y es soluble en los ácidos nítrico, sulfúrico y clorhídrico. Es atacado por el ácido nítrico y, aunque menos también por el sulfúrico. Otros estudios han demostrado efectos potenciadores en la toxicidad del talio al interactuar con el potasio.</p>

Cobertura normativa existente	No existe información en normativa nacional
--------------------------------------	---

4.3 BTEXN (benceno, tolueno, etilbenceno, xileno, naftaleno)

4.3.1 Benceno

Descripción General	El benceno es un hidrocarburo aromático polinsaturado con forma de anillo, del que se derivan otros hidrocarburos de este tipo, entre los que se encuentran: el tolueno, el orto-xileno, el meta-xileno y el para-xileno y otros llamados polinucleicos como son el naftaleno, fenantreno, antraceno y pireno. Se presenta en la naturaleza en cantidades exiguas y bajas concentraciones, es fabricado y procesado a nivel industrial como benceno puro que se obtiene del petróleo crudo. Se usa en la elaboración de material plástico, caucho sintético, colorante, pinturas, barnices, resinas, materias primas para detergentes y plaguicidas. Es liberado al medio ambiente por medio del motor de vehículos, calderas e incineradores, refinerías y la industria química.
Toxicidad	El benceno puede entrar en el organismo por inhalación, a través de la piel y por ingestión. La sustancia es muy tóxica para los organismos acuáticos. <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: El benceno líquido irrita los ojos, la piel, mucosas y el tracto respiratorio. La ingestión del líquido puede dar lugar a la aspiración del mismo por los pulmones y la consiguiente neumonitis química. Puede causar efectos en el sistema nervioso central, con dolores de cabeza, náuseas, somnolencia. Una exposición muy aguda puede producir pérdida del conocimiento y muerte. No hay estudios disponibles de toxicidad aguda producida por contacto dérmico. • Toxicidad crónica: La sustancia puede afectar a la médula ósea y al sistema inmune, dando lugar a una disminución de células sanguíneas. • Efectos cancerígenos: La exposición prolongada a niveles altos de benceno en el aire puede producir leucemia. El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS), la IARC (Grupo 1) y la EPA han determinado que el benceno es carcinogénico en seres humanos.
Fuentes de emisión	Fuentes y usos industriales. El benceno se descubrió y aisló por primera vez del alquitrán de hulla en el siglo XIX. Hoy en día, el benceno se produce principalmente a partir del petróleo. Debido a su amplio uso, el benceno se encuentra entre los 20 primeros en volumen de producción de productos químicos producidos en los Estados Unidos. Varias industrias usan benceno para fabricar otros productos químicos, como estireno (para Styrofoam® y otros plásticos), cumeno (para diversas resinas) y ciclohexano (para nailon y fibras sintéticas). El benceno también se usa en la fabricación de algunos tipos de cauchos, lubricantes, tintes, detergentes, medicamentos y pesticidas.

	Fuentes naturales. Las fuentes naturales de benceno incluyen las emisiones de gases de los volcanes y los incendios forestales. El benceno también está presente en el petróleo crudo, la gasolina y el humo de los cigarrillos.
Comportamiento en el medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: El Benceno llega a las aguas superficiales a través de la escorrentía y a las aguas subterráneas por lixiviación. No se bioacumula en los organismos marinos ya que tiene un coeficiente de partición octanol/agua bajo. No hay evidencias en la literatura de que se produzca biomagnificación (concentración en niveles tróficos sucesivos) del Benceno en la cadena alimentaria acuática. Sin embargo, existen evidencias de que es absorbido por las plantas y acumulado en las hojas y frutos. Es objeto de fotólisis indirecta en la zona iluminada de la superficie del agua. La biodegradación aeróbica de benceno se ve influenciada por la presencia de otros hidrocarburos aromáticos. La biodegradación bajo condiciones anaeróbicas no se produce. El Benceno es muy volátil, tiene un tiempo de evaporación entre 2,7-5 horas (4,8 horas en un cuerpo de agua) • Aire: Una importante parte del Benceno depositado en el suelo a través de lluvia, retorna a la atmósfera vía volatilización. En la atmósfera existe mayoritariamente en fase vapor y el proceso de degradación más importante es su reacción con radicales hidroxilos atmosféricos. Es considerado un generador moderado de smog. • Suelos y sedimentos: El benceno es degradado en el suelo en condiciones aeróbicas. Cuando en el medio están presentes mezclas de benceno, tolueno, xilenos y etilbenceno, existe una degradación secuencial de los hidrocarburos, empezando por el tolueno y los xilenos, mientras que el benceno y el etilbenceno son degradados en último término, en caso de que se degraden todos. • Biota: Altas concentraciones (>50 mg/m³) de Benceno en la atmósfera tienen un efecto letal para las plantas. En el agua para riego, el Benceno en bajas concentraciones estimula el crecimiento de las plantas y la formación radicular, mientras que en concentraciones de solución saturada inhiben el crecimiento.
Interacción con otros químicos	Las reacciones típicas del benceno son las de sustitución. Los agentes de sustitución utilizados con más frecuencia son: cloro, bromo, ácido nítrico, ácido sulfúrico concentrado y caliente.
Cobertura normativa existente	D.S. 148/2003, NCh 409, D.S. 46/2002

4.3.2 Etilbenceno

Descripción General	El etilbenceno es un hidrocarburo aromático y se presenta como un líquido inflamable, incoloro, de olor similar a la gasolina. Se encuentra en productos naturales tales como carbón y petróleo, como también en productos de manufactura como tinturas, insecticidas y pinturas. El uso principal es para fabricar
----------------------------	---

	<p>otro producto químico, Estireno y por la polimerización de este, se obtiene el poliestireno, que sirve en la fabricación de resinas, plásticos y hules. Otros usos incluyen como solvente, en combustibles, y en la manufactura de otros productos químicos</p>
<p>Toxicidad</p>	<p>Hay poca información acerca de los efectos del etilbenceno sobre la salud de seres humanos. El etilbenceno se puede absorber por inhalación del vapor, a través de la piel y por ingestión. La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La ingestión del líquido puede dar lugar a neumonitis química. La sustancia puede causar efectos en el sistema nervioso central. • Toxicidad crónica: El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. • Efectos cancerígenos: La IARC ha determinado que el etilbenceno es posiblemente carcinogénico en seres humanos (Grupo 2B). La EPA ha determinado que el etilbenceno no puede clasificarse en base a carcinogenicidad.
<p>Fuentes de emisión</p>	<p>El etilbenceno se encuentra naturalmente en el aceite. En los Estados Unidos se producen grandes cantidades de etilbenceno, la mayor parte del cual se utiliza para fabricar estireno.</p> <p>El etilbenceno también se utiliza en combustibles y disolventes.</p> <p>Los productos de consumo que contienen etilbenceno incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • gasolina • pinturas y tintas • pesticidas • pegamentos para alfombras • barnices y pinturas • productos de tabaco • productos automotrices
<p>Comportamiento en el medio ambiente</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: Una importante cantidad de etilbenceno migra desde el agua al aire. El etilbenceno disuelto en las aguas superficiales, poros del suelo o en las aguas subterráneas también migra a la atmósfera hasta que se produce la saturación. En la superficie del agua, las transformaciones del etilbenceno pueden ocurrir por fotoxidación y biodegradación. El etilbenceno puede sufrir procesos de fotólisis sintetizada. La biodegradación en aguas superficiales aeróbicas compite con procesos como la volatilización. • Aire: El etilbenceno pasa fácilmente al aire desde el agua y el suelo. Una vez en la atmósfera, el etilbenceno es transportado hasta que es sometido a procesos químicos o físicos. El etilbenceno puede ser removido de la atmósfera a través de la precipitación, pero puede volver a ella a través de la evaporación. La vía principal de degradación del etilbenceno en la atmósfera es a través de la reacción con radicales hidroxilos y radicales nitrato (que están solo presentes durante la noche). • Suelos y sedimentos: El etilbenceno tiene movilidad moderada en suelos. El carbono orgánico del suelo produce la sorción y reduce su movilidad. En

	suelos con bajo contenido en carbono orgánico, el etilbenceno lixivía hacia las aguas subterráneas. Esta movilidad también es posible en acuíferos que contienen poca materia orgánica en fase sólida (p.ej. en acuíferos de arenas y/o gravas). La biodegradación en el suelo compite con procesos de migración tales como la volatilización e infiltración a las aguas subterráneas.
Cobertura normativa existente	No existe información en normativa nacional

4.3.3 Tolueno

Descripción General	El Tolueno o metilbenceno es un compuesto orgánico volátil, materia prima a partir de la cual se obtienen derivados del benceno. Esta sustancia puede hallarse en la naturaleza en árboles del género Myroxylon y en el petróleo crudo. Además, puede obtenerse mediante distintos procesos industriales. Es usado como adición en los combustibles (como antidetonante) y como disolvente para pinturas, revestimientos, caucho, resinas, diluyente en lacas nitrocelulósicas y en adhesivos. Se utiliza en la manufactura de ácido benzoico, benzaldehído y otros compuestos orgánicos.
Toxicidad	<p>El Tolueno es una sustancia nociva, aunque su toxicidad es muy inferior a la del Benceno. La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: La sustancia irrita los ojos y el tracto respiratorio. La exposición podría causar depresión del sistema nervioso central. La exposición a altas concentraciones puede producir arritmia cardíaca, pérdida del conocimiento y muerte. • Toxicidad crónica: El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central, dando lugar a desórdenes psicológicos y dificultad en el aprendizaje. Tiene efectos como: pérdidas auditivas, hepatopatías, tubolopatía proximal y distal, ataxia, temblores y alteraciones del comportamiento, y polineuropatías • Efectos cancerígenos: La EPA y la IARC (Grupo 3) han determinado que el Tolueno no puede clasificarse en base a su carcinogenicidad.
Fuentes de emisión	<p>El tolueno se encuentra naturalmente en el petróleo crudo. Se produce en el proceso de fabricación de gasolina y otros combustibles a partir del petróleo crudo y en la fabricación de coque a partir del carbón.</p> <p>El tolueno se utiliza en la fabricación de pinturas, diluyentes de pintura, esmaltes de uñas, lacas, adhesivos y caucho, y en algunos procesos de impresión y curtido de cuero. Se utiliza en la producción de benceno, nailon, plásticos y poliuretano y en la síntesis de trinitrotolueno (TNT), ácido benzoico, cloruro de benzoilo y tolueno diisocianato. También se agrega a la gasolina junto con benceno y xileno para mejorar los índices de octanaje.</p>

<p>Comportamiento en el medio ambiente</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: La tasa de transporte del Tolueno a las aguas subterráneas depende del grado de adsorción al suelo. Aunque el contenido de carbono orgánico en los materiales acuíferos es un determinante importante para la migración del tolueno en las aguas subterráneas, la presencia de otros componentes de la gasolina (benceno, xileno) pueden impactar en la migración del tolueno. La presencia de estos componentes decrece la interacción entre el tolueno y el suelo, permitiendo de ese modo que se mueva más rápidamente en el acuífero. La degradación del tolueno en agua ocurre ante todo por acción microbiana. La degradación in situ es el principal sumidero de tolueno en corrientes superficiales. • Aire: Aunque el tolueno es un líquido a temperatura ambiente, es suficientemente volátil como para que la mayor parte se libere en el aire. Gran cantidad es liberada directamente al aire y el que es liberado a las aguas superficiales y al suelo tiende a volatilizar muy rápidamente. El tolueno en la atmósfera es rápidamente degradado por reacciones con radicales hidroxilos y también se oxida al reaccionar con dióxido de nitrógeno, oxígeno y ozono, pero las tasas de esas reacciones son mucho menores que para el hidroxilo radical. • Suelos y sedimentos: El Tolueno puede ser degradado en el suelo por bacterias.
<p>Cobertura normativa existente</p>	<p>NCh 409, D.S. 46/2002, D.S. 90/2000</p>

4.3.4 Xileno

<p>Descripción General</p>	<p>Los xilenos o dimetilbenceno se obtiene a partir del benceno. Según la posición relativa de los grupos metilo en el anillo bencénico, se diferencia entre orto-, meta-, o para- xileno (o con sus nombres sistemáticos 1,2-; 1,3-; y 1,4-dimetilbenceno). Se trata de líquidos incoloros e inflamables con un característico olor parecido al tolueno. Se encuentran en los gases de coque, en los gases obtenidos en la destilación seca de la madera y en algunos petróleos, sus aplicaciones más conocidas son como disolventes, además forman parte de muchas formulaciones de combustibles de gasolina donde destacan por su elevado índice octano.</p>
<p>Toxicidad</p>	<p>Los xilenos son nocivos y se pueden absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: La exposición breve a niveles altos de Xileno también puede causar irritación de la piel, los ojos, la nariz y la garganta; dificultad para respirar; problemas pulmonares; retardo del tiempo de reacción a estímulos; alteraciones de la memoria; malestar estomacal; y posiblemente alteraciones del hígado y los riñones. La exposición a niveles muy altos de Xileno puede causar pérdida del conocimiento y la muerte. • Toxicidad crónica: Exposiciones prolongadas de xileno pueden producir dermatitis, que se manifiesta por piel seca, agrietada y eritematosa, y

	<p>disfunción neuroconductual (cefalea, labilidad emocional, fatiga, pérdida de la memoria, dificultad en la concentración, disminución del periodo de atención, etc.).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Efectos cancerígenos: Tanto la IARC (Grupo 3) como la EPA han declarado que la información disponible es insuficiente para determinar si el xileno es carcinogénico.
<p>Fuentes de emisión</p>	<p>El xileno es principalmente una sustancia química sintética. Las industrias químicas producen xileno a partir del petróleo. El xileno también se encuentra naturalmente en el petróleo y el alquitrán de hulla y se forma durante los incendios forestales, en pequeña medida.</p> <p>Se utiliza principalmente como en las industrias de la impresión, el caucho y el cuero. Junto con otros solventes, el xileno también se usa ampliamente como agente de limpieza, diluyente de pintura y en barnices. El xileno se utiliza, en menor medida, como material en las industrias química, plástica y de fibras sintéticas y como ingrediente en el revestimiento de tejidos y papeles. Los isómeros de xileno se utilizan en la fabricación de ciertos polímeros (compuestos químicos), como los plásticos. El xileno se encuentra en pequeñas cantidades en el combustible y la gasolina de los aviones.</p>
<p>Comportamiento en el medio ambiente</p>	<p>Agua: El principal proceso de remoción del xileno en las aguas superficiales es la volatilización. Una pequeña cantidad se acumula en plantas, peces, mariscos y en otros animales que viven en agua contaminada con xileno. Los xilenos no se someten a hidrólisis y la biodegradación está lejos de ser un proceso competitivo. Sin embargo, la biodegradación es un proceso importante en las aguas subterráneas dado que la volatilización es inhibida en esas condiciones.</p> <p>Aire: Una vez que los xilenos entran en la atmósfera, se someten a una rápida fotoxidación por lo que otros mecanismos de transporte de mayor duración no son procesos importantes. La transformación del xileno por su reacción con radicales hidroxilo prevalece sobre la reacción con ozono y radicales nitrato.</p> <p>Suelos y sedimentos: El xileno es móvil en el suelo y no es adsorbido fuertemente por la materia orgánica, aunque la adsorción se incrementa con el aumento de la materia orgánica. Los xilenos que son liberados en el suelo volatilizan si están cerca de la superficie. Sin embargo, la movilidad de los xilenos en suelos indica que estas sustancias también pueden lixiviar a las aguas subterráneas, especialmente cuando la volatilización es inhibida. En esta situación, la biodegradación es el proceso más importante.</p>
<p>Interacción con otros químicos</p>	<p>Se ha evaluado la interacción estudios experimentales con seres humanos y animales del xileno con alcohol, fármacos (aspirina, fenobarbital) y varios disolventes (1,1,1-tricloroetano, benceno, tolueno, etilbenceno, metiletilcetona). El xileno tiene un alto potencial para interactuar con numerosas sustancias porque los isómeros inducen enzimas microsomales en el hígado.</p>

Cobertura normativa existente	NCh 409, D.S. 46/2002, D.S. 90/2000
-------------------------------	-------------------------------------

4.3.5 Naftaleno

Descripción General	<p>El naftaleno es el más simple de los PAHs y está constituido por dos anillos de benceno fusionados y ningún grupo sustituyente. Es muy poco soluble en agua y muy volátil, lo que permite que se disipe en forma relativamente fácil; pero es, de todos modos, resistente a la degradación y tóxico. Esta sustancia se puede incorporar al medio ambiente a través de uso industrial, uso de la madera, uso doméstico, el tabaco o a través de combustibles fósiles. Sin duda la fuente de contaminación de Naftaleno más abundante se produce por la quema de maderas y combustibles fósiles. Los vertidos de esta sustancia al suelo y al agua se deben fundamentalmente por derramamientos durante el almacenamiento o el transporte de los combustibles fósiles.</p>
Toxicidad	<p>El naftaleno en concreto se puede absorber por inhalación del aerosol, a través de la piel y por ingestión.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: La exposición a grandes cantidades de naftaleno vía ingestión puede provocar anemia hemolítica. Algunos de los síntomas de la anemia hemolítica son fatiga, falta de apetito, agitación y palidez. La exposición a grandes cantidades de naftaleno también puede causar náusea, vómitos, diarrea, sangre en la orina y una coloración amarillenta de la piel. En el caso de la inhalación de vapor de naftaleno, puede causar dolor de cabeza, confusión y disturbios visuales. En contacto con la piel, el naftaleno causa irritación de la piel y en el caso de una persona muy sensible, dermatitis severa. • Toxicidad crónica: El naftaleno puede afectar a los ojos dando lugar al desarrollo de cataratas durante una exposición prolongada. La inhalación prolongada de naftaleno puede causar náuseas, vómitos y desorientación. El manejo continuo de naftaleno puede producir dermatitis caracterizada por picores, enrojecimiento y formación de costras en la piel. • Efectos cancerígenos: La IARC (Grupo 2B) y la EPA consideran que el naftaleno es posiblemente carcinogénico en seres humanos. La ACGIH lo considera no clasificable como carcinogénico por los humanos.
Comportamiento en el medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: El naftaleno en el agua superficial puede volatilizar a la atmósfera. Sólo una pequeña fracción de naftaleno en agua superficial se asocia con las partículas orgánicas. Por lo tanto, permanecen en gran medida en disolución, con pequeñas cantidades asociadas con sólidos en suspensión y sedimentos bentónicos. El naftaleno es degradado en el agua por fotólisis y procesos biológicos. La biodegradación del naftaleno es suficientemente rápida como para ser el proceso dominante en sistemas acuáticos. La degradación ocurre más lentamente en aguas no contaminadas.

	<ul style="list-style-type: none"> • Aire: El naftaleno liberado en la atmósfera puede ser transportado a las aguas superficiales y/o suelos por deposición seca o húmeda, pero de forma muy lenta. El proceso atmosférico más importante de remoción del naftaleno es a través de la reacción fotoquímica producida con el radical hidroxilo. • Suelos y sedimentos: El naftaleno volatiliza fácilmente desde suelos aireados y es moderadamente adsorbido. Debido a que se adsorbe en materiales acuíferos, su transporte a través de las aguas subterráneas se ve levemente ralentizado. Asimismo, la adsorción a la materia orgánica reduce significativamente la biodegradación del naftaleno. En suelos menos contaminados, la biodegradación es mayor. La biodegradación se realiza a través de la acción de microorganismos aeróbicos y disminuye precipitadamente cuando las condiciones del suelo se vuelven anaeróbicas.
Cobertura normativa existente	No existe información en normativa nacional

4.4 Pesticidas Clorados

4.4.1 Clordano

Descripción General	<p>El clordano es una sustancia química sintética utilizada como pesticida. Esta sustancia es un líquido espeso que, dependiendo de su pureza, puede ser entre incoloro y ámbar. El clordano es una sustancia química única sino una mezcla de muchas sustancias químicas relacionadas, de las cuales las principales son: trans-clordano, cis-clordano, beta-clordano, heptacloro y trans-nonacloro. En 1988, la EPA prohibió el uso de clordano por la peligrosidad de este.</p>
Toxicidad	<p>Se han reportado casos de humanos expuestos accidentalmente por inhalación o ingestión que han presentado síntomas neurológicos diversos. Tras la ingestión de agua contaminada con clordano en concentraciones de hasta 1,2 g/L, 13 personas mostraron síntomas gastrointestinales y/o neurológicos. En otro caso, una mujer murió 9 días después de ingerir 104 mg/kg de peso corporal.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: de acuerdo con estudios en animales, el clordano es moderadamente tóxico en exposición aguda, produciendo ataxia, convulsiones, insuficiencia respiratoria y cianosis. El LD50 oral varía entre 25 a 1720 mg/kg de peso corporal, dependiendo del animal. • Toxicidad crónica: estudios en animales indican que la exposición crónica al clordano genera actividad de las enzimas hepáticas alterada y aumento en el peso absoluto y relativo del hígado. • Efectos cancerígenos: Ni la IARC o la EPA clasifican al clordano como carcinogénico.

Fuentes de emisión	La principal fuente de emisión son las industrias que fabrican, formulan o aplican clordano. Algunas fuentes son los pesticidas en cultivos, césped y jardines, como también la fumigación de termitas en el hogar.
Comportamiento en el medio ambiente	<p>El clordano entra al medio ambiente por factores antropogénicos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Agua: algunas cantidades de clordano se adhieren a los sedimentos y partículas en las corrientes de agua y otras cantidades desaparecen por la evaporación. • Aire: la mitad del clordano aplicado al suelo puede evaporarse en unos 2 o 3 días. La evaporación del clordano es mucho más lenta luego de penetrar el suelo. El clordano se degrada en la atmósfera al reaccionar con la luz y con ciertas sustancias químicas. • Suelo: esta sustancia se adhiere firmemente a las partículas de las capas superiores, pero es poco probable que entre a las napas de agua subterránea. Se desconoce si el clordano se degrada en la mayoría de los suelos, pero se sabe que puede permanecer en algunos suelos durante más de 20 años, principalmente en suelos pesados, arcillosos u orgánicos.
Interacción con otros químicos	La exposición a otros plaguicidas o productos químicos que inducen enzimas microsomales hepáticas puede aumentar la toxicidad del clordano. Por ejemplo, la exposición previa a aldrín, dieldrín o DDT aumentó la toxicidad aguda del clordano en ratas de 2,3 a 4,6 veces. También se reportan interacciones con tetracloruro de carbono y óxido de plomo.
Cobertura normativa existente	D.S. 148/2003, D.S. 143/2008

4.4.2 DDT, DDE, DDD

Descripción General	<p>El DDT (diclorodifeniltricloroetano) es un plaguicida usado en el pasado como plaguicida. Actualmente se usa solamente en unos pocos países para controlar la malaria. El DDT de calidad técnica es una mezcla de tres formas de DDT. Todas estas formas son sólidos blancos cristalinos, sin sabor y casi sin olor. El DDT de calidad técnica también puede contener DDE (diclorodifenildicloroetileno) y DDD (diclorodifenildicloroetano) como contaminantes. El DDD también se usó como plaguicida. Una forma de DDD ha sido usada en medicina para tratar el cáncer de la glándula adrenal. Tanto el DDE como el DDD son productos de degradación del DDT.</p> <p>El DDT no se encuentra naturalmente en el ambiente. El uso de este se prohibió en Estados Unidos en el año 1972, sin embargo, aún es utilizado en ciertas partes del mundo.</p>
Toxicidad	Varios estudios en humanos sugieren que las cargas elevadas de DDT / DDE pueden estar asociadas con alteraciones en la acción hormonal, como la duración de la lactancia, el mantenimiento del embarazo y la fertilidad. Otros estudios han evaluado la asociación entre la exposición al DDT y el cáncer en varios sitios,

	<p>particularmente el cáncer de mama. En conjunto, los resultados no han mostrado evidencia clara de que la exposición al DDT cause cáncer en humanos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: la exposición a altas concentraciones de DDT puede inducir temblores y convulsiones que generalmente desaparecen después de que cesa la exposición. • Toxicidad crónica: la exposición prolongada al DDT, DDE o DDD ha inducido cáncer de hígado en ratones. • Efectos cancerígenos: el DHHS, IARC (Grupo 2A) y EPA ha determinado que el DDT, DDE y DDD son probablemente cancerígenos para los seres humanos. Estas clasificaciones se basan principalmente en evidencia inadecuada de cáncer en humanos y evidencia suficiente en animales.
<p>Fuentes de emisión</p>	<p>La principal fuente de emisión del DDT proviene del uso de este como plaguicida para controlar insectos en cosechas agrícolas e insectos portadores de enfermedades tales como la malaria y el tifus. El DDD proviene principalmente de su uso como plaguicida, pero una fracción de este surge de la degradación del DDT. El DDE sólo proviene de la degradación del DDT.</p>
<p>Comportamiento en el medio ambiente</p>	<p>La mayor parte del DDT y DDD en el ambiente ocurre debido a su uso en el pasado. El DDE se encuentra en el medio ambiente sólo como resultado de la degradación del DDT, así mismo ocurre con parte del DDD.</p> <p>El DDT, DDE y DDD se degradan rápidamente por la luz solar en el aire, con vidas medias de entre 17 a 37 horas. Estas sustancias pueden entrar al aire cuando se evaporan desde agua y suelo contaminados. El DDT, DDD y DDE en el aire finalmente se depositará en el suelo o en el agua superficial, creando un ciclo de evaporación y deposición que puede durar largos periodos, permitiendo que estos contaminantes se trasladen largas distancias.</p> <p>El DDT, DDE y DDD se adhieren fuertemente al suelo. La mayoría del DDT se degrada lentamente en DDE y DDD, generalmente por acción de microorganismos. Estas sustancias tienden a depositarse en las capas superficiales del suelo y además son poco solubles en agua, por lo que difícilmente se filtrará a través del suelo contaminando napas subterráneas. La vida media del DDT en el suelo varía entre 2 y 15 años, dependiendo de la acidez y temperatura del suelo.</p>
<p>Interacción con otros químicos</p>	<p>El DDT puede tener efectos amplios al cambiar el metabolismo de otras sustancias químicas. Estudios en animales indican que el DDT administrado junto con un carcinógeno conocido puede resultar en un aumento o disminución en la producción de tumores respecto del carcinógeno por sí solo.</p> <p>Se reportan otras interacciones con los siguientes compuestos; dieldrín, 3-metil-(4-dimetilamina)-azobenceno, 2-acetilaminofluoreno, dietil-nitrosamina, tetracloruro de carbono, 7,12-dimetilbenzo(a)antraceno, aflatoxina B1. También se indican efectos en el sistema nervioso al combinar DDT con ciertos fármacos neurológicamente activos.</p>

Cobertura normativa existente	NCh 409
--------------------------------------	---------

4.4.3 Dieldrin

Descripción General	<p>Dieldrín es el nombre común del compuesto 1,2,3,4,10,10-hexacloro-6,7-epoxi-1,4,4a,5,6,7,8,8a-octahidro-1,4-endo,exo-5,8-dimetanonaftalina. La abreviación de este es HEOD. También es conocido comercialmente bajo los nombres Alvit, Dieldrix, Octalox, Quintox y Red Shield. Este compuesto se utilizaba como insecticida, es una sustancia químicamente manufacturada y no se encuentra naturalmente en el ambiente.</p> <p>Actualmente el dieldrín no se produce ni utiliza, dado que en 1970 el Departamento de Agricultura de Estados Unidos canceló su uso y en 1987 el fabricante voluntariamente canceló el registro del uso para controlar plagas. Se suele hablar de aldrín y dieldrín en conjunto dado que el aldrín se transforma en dieldrín cuando entra al ambiente o al cuerpo humano.</p>
Toxicidad	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: la exposición aguda a altas concentraciones de aldrín o dieldrín puede causar ataques y convulsiones e incluso la muerte. • Toxicidad crónica: la exposición prolongada a niveles bajos ha provocado dolores de cabeza, mareos, irritabilidad, vómitos y espasmos musculares. Se obtuvo un nivel mínimo de riesgo para el dieldrín por ingestión de 0,0001 mg/kg/día para la exposición de duración intermedia (15 a 364 días). Para una exposición crónica (mayor a 1 año) el límite es 0,00005 mg/kg/día. • Efectos cancerígenos: No hay evidencia concluyente de que el aldrín o el dieldrín causen cáncer en humanos, sin embargo, la EPA ha determinado que son probables carcinógenos humanos. La IARC no lo ha clasificado.
Fuentes de emisión	Actualmente no hay manufactura de dieldrín, sin embargo, quedan vestigios en el medio ambiente de su uso pasado como insecticida. Estos vestigios se observan en tierras contaminadas y en hogares que alguna vez fueron tratados contra las termitas con dieldrín o aldrín.
Comportamiento en el medio ambiente	<p>El aldrín se convierte en dieldrín en el medio ambiente por la luz solar y las bacterias. El dieldrín se adhiere firmemente al suelo y se evapora lentamente al aire. La vida media de este en suelos templados es de aproximadamente 5 años.</p> <p>El dieldrín puede viajar largas distancias en el medio ambiente adherido a partículas de polvo arrastradas por el viento. El aldrín y el dieldrín no son muy solubles en agua, pero se adhieren fácilmente a los sedimentos y rara vez se lixivian en capas más profundas del suelo y hacia aguas subterráneas.</p>
Interacción con otros químicos	Se dispone de información limitada sobre la influencia de otras sustancias químicas en la toxicidad del aldrín y el dieldrín. Se realizaron pruebas administrando dieldrín en conjunto con DDT, aramita y metoxicloro a ratas y no se observó aumento en la incidencia de cáncer respecto de la administración de dieldrín solo. Sin embargo,

	tampoco se observó aumento en la incidencia con ninguna de estas sustancias por separado.
Cobertura normativa existente	D.S. 143/2008

4.4.4 Pentaclorofenol

Descripción General	<p>El pentaclorofenol es una sustancia sintética, manufacturada a partir de otras sustancias químicas, y no está disponible naturalmente en el ambiente. La adquisición y el uso de esta sustancia se ha restringido a solo personal autorizado, desde el año 1984. Este compuesto se utilizaba como herbicida y plaguicida. Actualmente se usa industrialmente para preservar la madera.</p> <p>El pentaclorofenol puro se presenta en forma de cristales incoloros. Al calentarse, tiene un olor agudo característico similar al fenol. Este compuesto se puede encontrar en dos formas: pentaclorofenol solo y sal de sodio de pentaclorofenol. Esta última se disuelve fácilmente en agua, mientras que el pentaclorofenol es poco soluble. Ambas sustancias tienen propiedades físicas diferentes, pero causan efectos tóxicos similares.</p>
Toxicidad	<p>Algunos efectos adversos asociados con exposición al pentaclorofenol se deben a las impurezas presentes en el pentaclorofenol.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: las exposiciones breves a grandes cantidades de pentaclorofenol en el lugar de trabajo o a través del uso impropio de productos que lo contienen pueden producir efectos adversos en el hígado, los riñones, la sangre, los pulmones, el sistema nervioso, el sistema inmunitario y el tracto gastrointestinal. El contacto con el pentaclorofenol (especialmente en forma de vapor caliente) puede irritar la piel, los ojos y la boca. Si una gran cantidad de pentaclorofenol entra al cuerpo, las células del cuerpo producen calor, lo que produce un aumento de la temperatura del cuerpo. La temperatura corporal puede alcanzar niveles peligrosos, dañando varios órganos y tejidos, o aun causando la muerte. Este efecto es producido por el pentaclorofenol y no por las impurezas. Las duraciones de las exposiciones y los niveles que causan efectos perjudiciales no se han definido bien. • Toxicidad crónica: la exposición prolongada a bajos niveles, como ocurre en el trabajo, puede dañar el hígado, los riñones, la sangre y el sistema nervioso. Los estudios en animales también sugieren que el sistema endocrino y el sistema inmunitario pueden sufrir daño luego de una exposición prolongada a niveles bajos de pentaclorofenol. Todos estos efectos se agravan a medida que los niveles de la exposición aumentan. • Efectos cancerígenos: la IARC (Grupo 1) y la EPA han clasificado el pentaclorofenol como un carcinógeno para seres humanos.

Fuentes de emisión	En la actualidad, la principal fuente de emisión de pentaclorofenol son las industrias que utilizan este producto para la preservación de maderas. Quedan vestigios de su uso anterior como plaguicida y herbicida.
Comportamiento en el medio ambiente	<p>Las propiedades físicas y químicas de este compuesto sugieren que poco se evaporará a la atmósfera y que la mayor parte se movilizará con el agua y adherido a partículas en el suelo. El pentaclorofenol permanecerá horas o días en el aire, suelo y agua superficial, donde también puede ser degradado por microorganismos y por acción de la luz solar.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Agua: el pentaclorofenol entra al agua superficial y subterránea por infiltraciones desde fábricas, plantas para tratar madera y sitios de desechos peligrosos. • Aire: el pentaclorofenol se evapora desde la superficie de maderas tratadas y de la disposición final de desechos desde plantas de manufactura química y de preservación de la madera, contaminando así el aire. • Suelo: este compuesto contamina el suelo a causa de derrames, disposición en sitios de desechos peligrosos y directamente por su uso como plaguicida. El movimiento del pentaclorofenol en el suelo depende de la acidez de este mismo.
Interacción con otros químicos	<p>No se encontraron estudios sobre las interacciones tóxicas directas del pentaclorofenol con otras sustancias químicas en humanos, incluidos niños o animales.</p> <p>El pentaclorofenol puede alterar la toxicidad de otros compuestos a través de su acción inductora sobre las enzimas metabólicas microsomales. Si bien no se ha demostrado específicamente que este efecto inductor altere la toxicidad de otros compuestos, este tipo de alteraciones en la actividad enzimática pueden influir en el metabolismo y la toxicidad de muchos compuestos.</p>
Cobertura normativa existente	D.S. 148/2003, NCh 409, D.S. 46/2002, D.S. 90/2000

4.4.5 Endrina

Descripción General	La endrina es una sustancia sólida casi sin olor que se usó como plaguicida para controlar insectos, roedores y pájaros. Desde el año 1986 la endrina no se manufactura o se vende para uso general en los Estados Unidos. La endrina se degrada en aldehído de endrina y en cetona de endrina por acción de la luz.
Toxicidad	<p>La exposición a la endrina puede producir una variedad de efectos perjudiciales entre los que se incluyen efectos graves del sistema nervioso central (el cerebro y la médula espinal) y la muerte.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: la ingestión de cantidades altas de endrina (más de 0.2 mg/kg de peso) puede producir convulsiones y la muerte en materia de

	<p>minutos u horas. Los síntomas de envenenamiento con endrina consisten en dolor de cabeza, mareo, nerviosidad, confusión, náusea, vómitos y convulsiones. Algunos de estos síntomas pueden persistir durante semanas después de exposición a dosis altas de endrina.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad crónica: en trabajadores que se han expuesto a la endrina a través de inhalación o de contacto con la piel durante su manufactura o aplicación sobre terrenos agrícolas, no se han detectado efectos de largo plazo. • Efectos cancerígenos: la IARC (Grupo 3) y EPA han determinado que la endrina no es clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos ya que no hay información suficiente para clasificarla. Hay un estudio en roedores que sugiere que el aldehído o la cetona de endrina puede producir daño del hígado. No hay ninguna información adicional acerca de los efectos del aldehído o de la cetona de endrina sobre la salud.
Fuentes de emisión	Este producto ya no se manufactura en Estados Unidos, y se desconoce si otros lugares del mundo continúan produciéndolo. Antiguas fuentes de emisión provenían de su uso como plaguicida.
Comportamiento en el medio ambiente	La endrina no es muy soluble en agua. Niveles muy bajos de endrina se han encontrado tanto en agua subterránea como en agua de superficie. Esto puede deberse a que se adhiere a los sedimentos del fondo de ríos, lagos y otros cuerpos de agua. Generalmente no se encuentra endrina en el aire excepto cuando se aplicó a sembrados durante uso agrícola. La persistencia de la endrina en el ambiente depende en gran parte de las condiciones locales. Ciertos cálculos indican que la endrina puede permanecer en el suelo más de 10 años. La endrina también puede degradarse cuando se expone a temperaturas altas (230 °C) o a la luz para formar cetona de endrina y aldehído de endrina. No se sabe que le sucede a la cetona o al aldehído de endrina cuando son liberados al ambiente; sin embargo, la cantidad de endrina que se degrada a aldehído o a cetona de endrina es muy pequeña (menos de 5%).
Interacción con otros químicos	La toxicidad de la endrina puede verse influida por interacciones con otros agentes químicos y físicos, en particular otros plaguicidas organoclorados. Existen estudios sobre la interacción entre la endrina y DDT, DDE, DDD, clordano, aldrín y eldrín.
Cobertura normativa existente	D.S. 148/2003

4.4.6 Epóxido de heptacloro

Descripción General	El epóxido de heptacloro es un polvo blanco poco inflamable. Proviene de la degradación del heptacloro por acción de bacterias y animales. Aproximadamente el 20% del heptacloro es transformado a epóxido de heptacloro en el ambiente y en el cuerpo en unas horas. El heptacloro es una sustancia química manufacturada
----------------------------	--

	<p>usada en el pasado para matar insectos en el hogar, en edificios y en cosechas de alimentos. No existen fuentes naturales para ninguna de las dos sustancias.</p> <p>La EPA aun permite el uso del heptacloro para matar hormigas en transformadores bajo tierra, aunque no está claro si aún se usa con este propósito en los Estados Unidos.</p>
Toxicidad	<p>La exposición oral de animales de laboratorio al heptacloro da como resultado una variedad de efectos adversos que incluyen efectos hepáticos, efectos neurológicos, disfunción del sistema reproductivo y efectos sobre el desarrollo. Aunque hay muy pocos estudios que involucren exposición al epóxido de heptacloro, es probable que los efectos resultantes de la exposición al heptacloro se deban a su metabolismo a epóxido de heptacloro.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: se ha obtenido un nivel mínimo de riesgo de 0,0006 mg/kg/día para la exposición oral de duración aguda (<14 días) al heptacloro. Para exposición oral de duración intermedia se determinó un nivel mínimo de riesgo de 0,0001 mg/kg/día de heptacloro. • Efectos cancerígenos: la IARC (Grupo 2B) y EPA clasifican al heptacloro como posible carcinógeno humano.
Fuentes de emisión	<p>Algunas fuentes de emisión de heptacloro son las industrias de manufactura de este compuesto, también la utilización del mismo como insecticida bajo tierra. Debido a la persistencia de heptacloro y epóxido de heptacloro en el medio ambiente, aún hay vestigios de su uso para control de plagas en hogares y en campos contaminados.</p>
Comportamiento en el medio ambiente	<p>El heptacloro se convierte en epóxido de heptacloro en el medio ambiente. El epóxido de heptacloro se degrada más lentamente y, por tanto, es más persistente.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Agua: el heptacloro se distribuye con cierta rapidez a la atmósfera desde el agua superficial y esa volatilización es significativa. Por el contrario, el epóxido de heptacloro se distribuye lentamente a la atmósfera desde el agua superficial. El heptacloro en agua tiene una vida media estimada de 3,5 días. El epóxido de heptacloro tiene una vida media en agua de al menos 4 años. • Suelo: el heptacloro y el epóxido de heptacloro se adsorben fuertemente a los sedimentos. la temperatura y la humedad afectan la persistencia de heptacloro y epóxido de heptacloro en el suelo, al igual que la cantidad de materia orgánica presente.
Interacción con otros químicos	<p>Existen estudios donde se evalúa como los factores nutricionales pueden influir en la toxicidad de los plaguicidas, en particular del heptacloro. Estudios en ratas han mostrado que la proteína dietética inadecuada aumenta la toxicidad de la mayoría de los pesticidas, pero disminuye, o no afecta, la toxicidad de unos pocos. Los resultados de estos estudios han demostrado que con una séptima parte o menos de proteína dietética normal, la toxicidad hepática del heptacloro disminuye. Las dietas bajas en proteínas pueden disminuir el metabolismo del heptacloro a epóxido de heptacloro.</p>

Cobertura normativa existente	D.S. 148/2003, D.S. 143/2008
--------------------------------------	------------------------------

4.4.7 Hexaclorobenceno

Descripción General	El hexaclorobenceno es un hidrocarburo completamente clorado, utilizado en las industrias químicas. A temperatura ambiente se encuentra en estado sólido, cristalizado y de color blanco, es prácticamente insoluble en agua y su descomposición por calor produce otros compuestos tóxicos como ácido clorhídrico, compuestos clorados, monóxido y dióxido de carbono, entre otros. Gran parte de este compuesto se produce como desecho en la producción de otros hidrocarburos clorados y es un contaminante presente en pesticidas y fungicidas. Es un compuesto muy persistente en el medio ambiente debido a su estabilidad química y resistencia a la biodegradación.
Toxicidad	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: La exposición a corto plazo en altas concentraciones causa efectos en el sistema nervioso como debilidad, temblores y convulsiones, como también llagas en la piel, y efectos en la tiroides e hígado. • Toxicidad crónica: La exposición a largo plazo puede causar efectos similares a los descritos en exposición aguda. • Efectos cancerígenos: No hay evidencia fuerte que lo respalde como cancerígeno. Pero la DHHS, EPA y la IARC (Grupo 2B) lo han clasificado como posible cancerígeno para seres humanos.
Fuentes de emisión	La principal fuente de emisión es la aplicación de pesticidas y fungicidas, afectando suelos, sedimentos y cuerpos de agua. La mala disposición de productos de hexaclorobenceno o sus subproductos son también una fuente del compuesto. Otra fuente de emisión en la incineración de materiales clorados. El hexaclorobenceno es un subproducto de la producción de tetracloroetileno y tricloroetileno, y pesticidas como el pentacloronitrobenceno y pentaclorofenol. La combustión de basura municipal y las plantas de preservación de madera producen pequeñas cantidades de hexaclorobenceno.
Comportamiento en el medio ambiente	<p>La degradación del hexaclorobenceno en el aire es lenta, por lo que puede transportarse por grandes distancias.</p> <p>En el agua se adhiere a sedimentos, depositándose en el fondo de los cuerpos de agua. En promedio la mitad del hexaclorobenceno depositado desaparecerá entre 3 a 6 años.</p> <p>En el suelo se encuentra con poca movilidad y puede evaporarse desde la superficie. Se necesitan años para la descomposición de este compuesto en el suelo, ya que se degrada lentamente por los microorganismos del suelo.</p> <p>Por otro lado, existe gran evidencia sobre la bioacumulación del hexaclorobenceno en organismos acuáticos.</p>

Interacción con otros químicos	Se ha reportados diversos efectos del hexaclorobenceno con químicos que se encuentran relacionados a la metabolización en el hígado. Se ha reportado la interacción con enzimas oxidasas, hidroxilasas de hidrocarburos y otras. También se ha reportado la alteración de la toxicidad de otros químicos como el tetraclorodibenceno.
Cobertura normativa existente	D.S. 148/2003

4.4.8 Lindano

Descripción General	El hexaclorociclohexano (HCH), conocido también como hexacloruro de benceno (BHC), es una sustancia química manufacturada que existe en ocho formas llamadas isómeros. Los diferentes isómeros se nombran de acuerdo a la posición de los átomos de hidrógeno en la estructura química. Una de estas formas, el gama-HCH (γ -HCH, comúnmente llamado lindano), se produce y usa como insecticida en frutas, hortalizas y plantaciones forestales, y en animales y espacios donde se mantienen animales. Es un sólido blanco que puede evaporarse al aire. El vapor es incoloro y tiene un ligero olor a moho. El lindano no se ha producido en los Estados Unidos desde el año 1976.
Toxicidad	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: las personas que han tragado grandes cantidades de HCH han sufrido convulsiones y algunas han muerto. Unas pocas personas que usaron cantidades muy grandes de lindano o lo usaron frecuentemente en la piel sufrieron alteraciones de la sangre o convulsiones. Sin embargo, en seres humanos no se ha establecido una relación causal entre exposición al lindano y las alteraciones de la sangre. • Toxicidad crónica: en seres humanos, inhalar cantidades tóxicas de isómeros de HCH puede producir alteraciones de la sangre, mareo, dolores de cabeza, y posiblemente alteraciones de los niveles de hormonas sexuales en la sangre. Estos efectos han ocurrido en trabajadores expuestos a vapores de HCH durante la manufactura de plaguicidas. La administración oral prolongada de isómeros de HCH de calidad técnica a roedores ha producido cáncer del hígado. • Efectos cancerígenos: El DHHS y IARC (Grupo 1) han determinado que es razonable predecir que todos los isómeros del HCH pueden producir cáncer en seres humanos. La EPA ha determinado que hay evidencia que sugiere que el lindano es carcinogénico, pero la evidencia es insuficiente para evaluar la posibilidad de que produzca cáncer en seres humanos.
Fuentes de emisión	Las emisiones de lindano provienen de su uso como insecticida, también de su uso médico (loción, crema o champú) para tratar o controlar sarna y piojos.
Comportamiento en el medio ambiente	Aunque el HCH de calidad técnica ya no se usa en los Estados Unidos, algunos de sus isómeros persisten en el ambiente y se han encontrado en el suelo y el agua superficial en sitios de desechos peligrosos. En el aire, las diferentes formas del HCH pueden estar presentes en forma de vapor o adheridas a pequeñas partículas de

	<p>tierra o polvo. Estas partículas pueden ser removidas del aire por la lluvia o pueden ser degradadas por otros compuestos presentes en la atmósfera. El HCH puede permanecer en el aire durante largo tiempo y puede movilizarse largas distancias dependiendo de las condiciones ambientales. En el suelo, los sedimentos y el agua, el HCH es degradado a sustancias menos tóxicas por algas, hongos y bacterias, pero este proceso puede tomar mucho tiempo.</p>
Interacción con otros químicos	<p>Los conejillos de Indias mantenidos con dietas deficientes en vitamina C y proteínas mostraron metabolismo y excreción de lindano alterados. La deficiencia de vitamina C disminuyó la cantidad de lindano y sus metabolitos excretados en la orina y aumentó la cantidad almacenada en el riñón.</p> <p>Hay diversos estudios en animales que reportan interacciones de lindano con los siguientes químicos: cadmio, malatión y otros insecticidas de hidrocarburos clorados como el DDT.</p>
Cobertura normativa existente	<p>D.S. 148/2003, NCh 409, D.S. 143/2008</p>

4.5 Organoclorados

4.5.1 Tetracloruro de carbono

Descripción General	<p>El tetracloruro de carbono es un líquido transparente que se evapora muy fácilmente. Por esta razón, la mayor parte del tetracloruro de carbono que se escapa al ambiente se encuentra en forma de gas. El tetracloruro de carbono no se inflama fácilmente. Esta sustancia no ocurre naturalmente en el ambiente. El tetracloruro de carbono ha sido producido en grandes cantidades para manufacturar líquidos refrigerantes y propulsores para aerosoles.</p> <p>Debido a que se ha descubierto que estos productos afectan la capa de ozono, la manufactura de estas sustancias químicas se está eliminando gradualmente. Por lo tanto, la manufactura y el uso del tetracloruro de carbono han disminuido considerablemente.</p>
Toxicidad	<p>Los estudios en animales y humanos indican que la exposición por inhalación al tetracloruro de carbono induce depresión del sistema nervioso central, daño hepático y daño renal. La irritación gastrointestinal está asociada con la exposición oral después de una dosis accidental en humanos.</p> <p>La absorción dérmica puede causar náuseas, vómitos y efectos neurológicos en humanos, así como daño hepático en animales.</p>

	<p>El consumo de alcohol después de la exposición al tetracloruro de carbono puede facilitar el desarrollo de efectos toxicológicos graves.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: se ha obtenido un nivel mínimo de riesgo de 0,02 mg/kg/día para la exposición oral de duración aguda (≤ 14 días). Se ha obtenido un nivel mínimo de riesgo de 0,007 mg/kg/día para la exposición oral de duración intermedia (15 a 364 días). Se ha obtenido un nivel mínimo de riesgo de 0,03 ppm para la exposición por inhalación de duración intermedia. • Toxicidad crónica: se ha obtenido un nivel mínimo de riesgo de 0,03 ppm para la exposición por inhalación de duración crónica (≥ 1 año). • Efectos cancerígenos: La IARC ha clasificado el tetracloruro de carbono en el Grupo 2B, como posible carcinógeno para los humanos, y la EPA ha determinado que el tetracloruro de carbono es un probable carcinógeno humano.
<p>Fuentes de emisión</p>	<p>En el pasado, el tetracloruro de carbono se usó como líquido de limpieza (como agente desengrasante en la industria y en establecimientos de limpieza al seco, y en el hogar para remover manchas de ropa, muebles y alfombras). El tetracloruro de carbono se usó también en extintores de incendios y como fumigante para matar insectos en granos. También se utilizó como plaguicida. Otra industria de manufactura de este compuesto fue la de líquidos refrigerantes y propulsores para aerosoles.</p>
<p>Comportamiento en el medio ambiente</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: se pueden encontrar pequeñas cantidades de tetracloruro de carbono en el agua superficial, pero se trasladarán al aire en unos pocos días. Algunos también pueden ir al agua subterránea, donde pueden permanecer durante meses antes de descomponerse. • Aire: el tetracloruro de carbono se evapora fácilmente y se encuentra principalmente en el medio ambiente como gas. Puede permanecer en el aire durante varios años antes de descomponerse. El tetracloruro de carbono no se biodegrada fácilmente en la atmósfera, por lo que se espera un transporte global significativo. • Suelo: en el suelo, el tetracloruro de carbono se volatilizará rápidamente. La bioacumulación es posible en condiciones de exposición constante, como entornos laborales o viviendas cerca de sitios de desechos peligrosos.
<p>Interacción con otros químicos</p>	<p>Existe evidencia de que la toxicidad del tetracloruro de carbono aumenta dramáticamente por los alcoholes, cetonas y una variedad de otras sustancias químicas, tales como fenobarbital, metanfetamina, DDT, PBB y clordecona.</p>
<p>Cobertura normativa existente</p>	<p>D.S. 148/2003, D.S. 143/2008</p>

4.5.2 1,2-Dicloroetano

<p>Descripción General</p>	<p>Es un compuesto fabricado antropogénicamente, es decir, no ocurre naturalmente en el ambiente. Es un líquido transparente que se evapora rápidamente a temperatura ambiente, con olor agradable y sabor dulce.</p>
<p>Toxicidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: La exposición a corto plazo en altas concentraciones causa efectos en el sistema nervioso y genera enfermedades en el hígado y riñón. También se reportan efectos sobre el pulmón en exposiciones agudas mediante inhalación. En casos de mortalidad la causa fue la falla cardíaca. En experimentos con animales de laboratorio que respiran o tragan 1,2-dicloroetano se observó reducción en la habilidad para combatir infecciones. • Toxicidad crónica: La exposición a largo plazo a niveles menores de concentración produce enfermedades al riñón en animales. • Efectos cancerígenos: La DHHS, EPA y la IARC (Grupo 2B) ha determinado que es razonable predecir que puede producir cáncer en seres humanos.
<p>Fuentes de emisión</p>	<p>La fuente más común de 1,2-dicloroetano proviene de la fabricación de cloruro de polivinilo, que se usa en todo tipo de manufacturas de plástico y vinilo; como cañerías y materiales de construcción, material de empaque, tapices de muebles y automóviles, cubiertas de murallas, artículos para el hogar y partes de automóviles. Este compuesto es también usado como solvente y se añade en gasolinas para la remoción de plomo.</p> <p>Otras fuentes de 1,2-dicloroetano provienen de productos de limpieza para telas, removedores de grasa en metales, y para disolver aceites, grasas, ceras, resinas y caucho. Grandes cantidades de 1,2-dicloroetano se producen actualmente para la fabricación de otros productos químicos.</p>
<p>Comportamiento en el medio ambiente</p>	<p>El 1,2-dicloroetano entra al ambiente durante su manufactura, empaque, transporte o durante su uso. Estos usos liberan el compuesto al aire y cuerpos de agua. Los derrames accidentales son fuentes de 1,2-dicloroetano pudiendo afectar al suelo, agua y aire; que luego se evapora fácilmente.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Agua: en el agua, el 1,2-dicloroetano se degrada muy lentamente, saliendo de ella por evaporación. Bajas cantidades pueden incorporarse en pequeñas concentraciones a plantas y peces. No se tiene certeza de cuánto tiempo permanece en el agua, pero su tiempo es mayor en lagos que en ríos. • Aire: en el aire se degrada rápidamente al reaccionar con otros compuestos formados por la luz solar, este compuesto puede permanecer en el aire por más de 5 meses antes de su degradación, pero puede ser removido por la lluvia o la nieve. Debida a su permanencia en el aire por largos periodos el viento puede transportarlo por largas distancias. • Suelo: en el suelo puede someterse a evaporación y entrar al aire o entrar a aguas subterráneas. Los microorganismos del suelo pueden transformar a otros compuestos menos peligrosos.
<p>Interacción con otros químicos</p>	<p>No se reportan estudios en humanos sobre la interacción de 1,2-dicloroetano con otros químicos.</p>

Cobertura normativa existente	D.S. 148/2003
--------------------------------------	---------------

4.5.3 Cloroformo

Descripción General	<p>El cloroformo, también conocido como triclorometano o tricloruro de metilo, es un líquido incoloro con un olor agradable y no irritante. La mayor parte del cloroformo que se encuentra en el medio ambiente proviene de la industria. Esta sustancia sólo arde cuando alcanza temperaturas muy altas. El cloroformo fue uno de los primeros anestésicos inhalados que se utilizaron durante las cirugías, pero actualmente ya no tiene esta aplicación. Gran parte del cloroformo que se produce se utiliza para elaborar otros productos químicos, pero otra parte se vende o se comercializa como cloroformo.</p>
Toxicidad	<p>En los seres humanos, el cloroformo afecta el sistema nervioso central, el hígado y los riñones si las personas inhalan aire o beben líquidos que contienen grandes cantidades de cloroformo. Este compuesto se utilizaba antiguamente como anestésico durante las cirugías antes de que se conocieran sus efectos dañinos sobre la salud humana.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: La inhalación de 900 ppm de cloroformo durante un breve lapso de tiempo causa fatiga, mareos y dolor de cabeza. Inhalar aire, comer alimentos o beber agua que contienen niveles elevados de cloroformo por un periodo largo de tiempo, puede dañar su hígado y sus riñones. • Efectos teratogénicos y mutagénicos: se desconoce si el cloroformo perjudica la capacidad de reproducción de las personas o si causa defectos congénitos. Las ratas y ratones que respiraron aire con niveles elevados de cloroformo (30 a 300 ppm) y las que comieron cloroformo durante el embarazo, presentaron abortos espontáneos. Las crías de las ratas y ratones que inhalaron cloroformo durante el embarazo nacieron con defectos congénitos. • Efectos cancerígenos: El DHHS, IARC (Grupo 2B) y EPA han determinado que el cloroformo es posiblemente un cancerígeno humano.
Fuentes de emisión	<p>El cloroformo entra al ambiente como resultado de las actividades en las empresas químicas y las plantas de fabricación de papel. También se encuentra en las aguas residuales de las plantas de tratamiento de aguas negras y en el agua potable que ha sido tratada con cloro. Durante la cloración del agua se forman pequeñas cantidades de cloroformo, el cual constituye un derivado no deseado.</p>
Comportamiento en el medio ambiente	<p>El cloroformo se evapora muy rápidamente cuando está expuesto al aire. También se disuelve fácilmente en el agua, pero no se adhiere muy bien al suelo. Esto significa que puede viajar del suelo a las aguas subterráneas y llegar hasta las reservas de agua. El cloroformo permanece mucho tiempo tanto en el aire como en el agua subterránea.</p>

	<p>La mayor parte del cloroformo en el aire llega a descomponerse, pero este proceso es lento. Entre los productos de su descomposición en el aire se incluyen el fosgeno, que es más tóxico que el cloroformo, y el cloruro de hidrógeno, que también es tóxico. Cierta cantidad de cloroformo también puede descomponerse en el suelo.</p> <p>El cloroformo no parece acumularse en gran cantidad en las plantas y en los animales, pero sí podemos encontrar pequeñas cantidades de cloroformo en los alimentos.</p>
Interacción con otros químicos	<p>Informes clínicos indican que el cloroformo presenta interacciones en pacientes tratados con morfina, provocando dificultades respiratorias graves. También se informan interacciones con tiopentona.</p> <p>Existen diversos estudios en animales que indican que el cloroformo interactúa con otras sustancias químicas en el organismo, tales como el DDT, fenobarbital, sustancias cetónicas, tetracloruro de carbono, etanol y otros.</p>
Cobertura normativa existente	D.S. 148/2003

4.5.4 Cloruro de metileno

Descripción General	<p>El cloruro de metileno o diclorometano, es un líquido incoloro de olor levemente dulce. A temperatura ambiente es volátil y produce concentraciones potencialmente tóxicas. El cloruro de metileno es un líquido combustible, pero su vapor es inflamable solo cuando está presente en mayores concentraciones (14 a 22% en el aire). Además, es una sustancia ligeramente soluble en agua y miscible con la mayoría de los disolventes orgánicos. Es ampliamente usado como solvente industrial y para remover pintura. Este compuesto no parece existir naturalmente en el ambiente y se fabrica a partir de la cloración directa de metano o cloruro de metilo.</p>
Toxicidad	<p>El cloruro de metileno irrita la piel, los ojos y el tracto respiratorio. El contacto prolongado con la piel puede ocasionar quemaduras químicas. La exposición por cualquier vía a este compuesto puede causar depresión del sistema nervioso central. Los efectos adversos para la salud del cloruro de metileno se deben tanto al compuesto original como al monóxido de carbono, que es un metabolito del cloruro de metileno.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: los signos y síntomas de exposición a niveles muy altos (>750 ppm) de cloruro de metileno pueden ser evidentes minutos después del inicio de la exposición. El monóxido de carbono priva al cerebro del suministro y utilización normal del oxígeno. El cloruro de metileno en exposición aguda causa dolor de cabeza, somnolencia, aturdimiento y otros síntomas. Se han reportado pérdidas de conocimiento, coma, convulsiones y muerte. Se han reportado secuelas a exposición aguda grave tales como

	<p>daño cerebral o cardíaco, incontinencia urinaria y fecal y alteraciones de la marcha.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad crónica: se han documentado efectos cardiovasculares, pero no se han demostrado en estudios epidemiológicos de trabajadores expuestos al cloruro de metileno. Se ha observado dermatitis en trabajadores que tienen exposición crónica de la piel. • Efectos cancerígenos: El DHHS ha determinado que esta sustancia puede ser anticipada como un carcinógeno para seres humanos, mientras que la IARC lo clasifica como un probable carcinógeno (Grupo 2A)
<p>Fuentes de emisión</p>	<p>La mayor parte del cloruro de metileno liberado al ambiente proviene de su uso como producto final en varias industrias y del uso de aerosoles y removedores de pintura en el hogar.</p> <p>El cloruro de metileno se puede encontrar en algunos aerosoles y en plaguicidas y se usa en la manufactura de cinta fotográfica. El cloruro de metileno puede encontrarse en algunas pinturas en aerosol, en productos para limpiar automóviles y en otros productos de uso doméstico. También se utiliza como agente de expansión para espumas de poliuretano.</p>
<p>Comportamiento en el medio ambiente</p>	<p>El cloruro de metileno es liberado principalmente al aire, y en menor grado al agua y al suelo. Muchos sitios de desechos químicos contienen cloruro de metileno y pueden constituir fuentes adicionales de contaminación ambiental a través de derrames, escapes o evaporación.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Agua: aunque el cloruro de metileno no se disuelve fácilmente en agua, se pueden encontrar pequeñas cantidades en el agua potable. El cloruro de metileno presente en el agua es degradado lentamente por reacciones con otras sustancias químicas o por bacterias. Más de 90% del cloruro de metileno en el ambiente se transforma a dióxido de carbono (CO₂), una sustancia que ocurre normalmente en el aire. La mitad del cloruro de metileno en el agua tarda cerca de 1 a 6 días en degradarse. • Aire: debido a que el cloruro de metileno se evapora fácilmente, la mayor parte se libera al aire. En el aire, es degradado por la luz solar y por reacciones con otras sustancias químicas que se encuentran en el aire. Aproximadamente la mitad del cloruro de metileno en el aire es degradado en 57 a 127 días. • Suelo: cuando se derrama cloruro de metileno en el suelo, se adhiere a partículas en este, aunque no muy firmemente, y se moviliza desde el suelo al aire. Cierta cantidad puede también moverse hacia el agua subterránea. No hay información de cuánto tiempo permanece en el suelo. El cloruro de metileno no parece acumularse en plantas o en animales.
<p>Interacción con otros químicos</p>	<p>Estudios en humanos indican que la exposición simultánea al cloruro de metileno y monóxido de carbono tiene un efecto aditivo sobre los niveles de COHb en la sangre. Otros estudios indican un posible efecto aditivo entre el cloruro de metileno y el tolueno (así como los alcoholes minerales y la metiletilcetona), en que a destreza manual y el desempeño de las tareas de memoria visual se vieron afectadas.</p>

Cobertura normativa existente	D.S. 143/2008
--------------------------------------	---------------

4.5.5 Tetracloroetileno

Descripción General	El tetracloroetileno o tetracloroetano (o PERC) es una sustancia química sintética de amplio uso en la industria. Es un líquido incoloro, no inflamable, pesado y con un olor parecido al éter, a temperatura ambiente y se evapora fácilmente al aire.
Toxicidad	<p>El tetracloroetileno se puede absorber en el organismo a través de la piel, por ingestión o inhalación, siendo estas últimas las vías de entrada preferentes. Una vez dentro del organismo sólo se metaboliza cerca del 3% y el resto regresa al ambiente sin ningún cambio a través de la respiración. El tetracloroetileno es peligroso para el medio ambiente, especialmente para los acuíferos y la vida acuática.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: El tetracloroetileno irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La ingestión del líquido puede originar neumonitis química. También puede causar efectos en el sistema nervioso central. • Toxicidad crónica: La exposición prolongada a tetracloroetileno puede causar desórdenes de la memoria y de la concentración, problemas en la visión, mareo constante, irritabilidad, falta de coordinación de los movimientos y perturbaciones del sueño. La exposición crónica puede causar anomalía en el funcionamiento del hígado y los riñones. En la piel puede generar dermatitis crónica. • Efectos cancerígenos: La IARC ha clasificado al tetracloroetileno dentro del grupo de sustancias probablemente cancerígenas (Grupo 2^a) teniendo como base una serie de estudios en animales. La Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH) clasifica el tetracloroetileno como carcinogénico en animales. Estudios en seres humanos sugieren que la exposición al tetracloroetileno puede aumentar el riesgo de contraer cáncer de la vejiga, Mieloma múltiple, o Linfoma del tipo non-Hodgkin, aunque la evidencia no es muy fuerte. En animales, el tetracloroetileno ha producido cáncer del hígado, el riñón y la sangre.
Fuentes de emisión	La principal fuente de emisión del tetracloroetileno se origina en la evaporación durante su uso o almacenamiento, liberándose esta sustancia a la atmósfera. Las descargas de aguas residuales, desechos de fábrica, filtraciones de los estanques de almacenamiento pueden liberar la sustancia a cuerpos de agua y suelos aledaños. Otras fuentes particulares de emisión son las tintorerías de lavado en seco, los desechos químicos almacenados, repelentes de agua, lubricantes de silicona, acondicionadores de telas, quitamanchas, adhesivos y productos de limpieza para madera.
Comportamiento en el medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: La vía de eliminación más rápida del tetracloroetileno en el agua es la volatilización a la atmósfera; ésta se ve retardada debido a que el tetracloroetileno es más denso que el agua y además poco soluble en ella y por tanto tiende a permanecer en el fondo. El tetracloroetileno en el agua

	<p>sufre degradación microbiana a otras sustancias que pueden llegar a tener efectos igualmente nocivos como el tricloroetileno.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aire: Debido a su alta volatilidad, las liberaciones de tetracloroetileno al medio ambiente se dirigen casi de forma exclusiva a la atmósfera. La larga vida media que presenta el tetracloroetileno en el aire explican su presencia en áreas remotas, lejos de la fuente de producción o manejo. El tetracloroetileno atmosférico puede sufrir procesos de deposición húmeda pero no de deposición seca. El proceso de transformación dominante para el tetracloroetileno en la atmósfera es una reacción con radicales hidroxilo generados fotoquímicamente. • Suelos y sedimentos: La eliminación del tetracloroetileno del suelo se produce principalmente por volatilización. La velocidad de volatilización en el suelo es más baja que en el agua (de 10 a 100 veces menor). La biodegradación del tetracloroetileno en el suelo solo ocurre bajo condiciones específicas y solo se lleva a cabo hasta un porcentaje definido. La descomposición bacteriana del tetracloroetileno en el suelo genera principalmente tricloroetileno.
Interacción con otros químicos	Se han estudiado numerosos químicos orgánicos e inorgánicos y sus interacciones con el tetracloroetileno, pero no se han reportado interacciones de interés.
Cobertura normativa existente	D.S. 148/2003

4.5.6 Tricloroetileno

Descripción General	El Tricloroetileno o Tricloroeteno (TCE) es una sustancia sintética que no se produce de forma natural en el medio ambiente. Los principales usos son como producto de limpieza para el desengrase de metales, aplicaciones en el procesado textil y en la producción de cerámica especial. La principal fuente de emisión se produce por vertidos industriales accidentales, teniendo como consecuencia la contaminación del medio marino y de los acuíferos subterráneos de la zona por lixiviación, ya que el Tricloroetileno es una sustancia que se disuelve con facilidad en agua.
Toxicidad	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: La sustancia irrita los ojos y la piel. La ingestión del líquido puede originar aspiración dentro de los pulmones con riesgo de neumonitis química. Puede causar efectos en el sistema nervioso central. La exposición podría causar disminución de la consciencia. • Toxicidad crónica: El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. La sustancia puede afectar al hígado y al riñón, también puede producir mareo, dolores de cabeza, somnolencia, incoordinación, confusión, náusea, pérdida del conocimiento y aún causar la muerte. • Efectos cancerígenos: La IARC ha determinado que el TCE es carcinogénico en seres humanos (Grupo 1). La ACGIH lo clasifica como no sospechoso de ser cancerígeno, mientras que la EPA lo clasificó como probable cancerígeno, si bien dicha clasificación se encuentra en revisión y tiene un

	efecto negativo sobre el desarrollo humano tales como abortos espontáneos, defectos congénitos del corazón, defectos del sistema nervioso y bajo peso de nacimiento.
Fuentes de emisión	La principal fuente de emisión de TCE en el medio ambiente proviene de la evaporación que se da en las fábricas que lo utilizan para remover grasa de los metales. Otras fuentes de emisión de esta sustancia son las instalaciones para el tratamiento de desechos, la evaporación de pinturas, pegamentos y otros productos o cuando es liberada por las fábricas que la producen.
Comportamiento en el medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: El TCE es más pesado que el agua y se hunde paulatinamente hasta el fondo, incluso en cuerpos de agua subterráneos. En el agua subterránea contaminada, en suelos anaeróbicos y en lugares de disposición de desechos sólidos sufre transformaciones anaeróbicas que dan por resultado isómeros del dicloroetano y cloruro de vinilo. • Aire: Debido a la volatilidad del TCE, se evaporan cantidades considerables de la producción total que luego se disipan en toda la atmósfera. Hay un continuo intercambio entre el aire y el agua. Esta sustancia contribuye en pequeña medida a la formación de smog (contaminación atmosférica de las ciudades). Las precipitaciones lo arrastran de la atmósfera y así ingresa a los cuerpos de agua superficiales o subterráneos. • Suelos y sedimentos: El TCE se acumula en los sedimentos. En suelos arenosos no se produce transformación alguna. Es degradado por acción de microorganismos adaptados.
Interacción con otros químicos	<p>Reacciona con materiales alcalinos (p. ej., con argamasa) formando dicloroacetileno.</p> <p>El alcohol puede afectar el metabolismo del TCE, en un estudio controlado de voluntarios varones, el consumo de alcohol después la exposición de 3 o 7,5 horas a vapores de tricloroetileno a 200 ppm resultó en niveles medios de tricloroetileno aproximadamente 2 veces más altos en el aire espirado que los niveles medidos sin consumo de alcohol.</p> <p>Otros estudios realizados en ratas reportan interacciones entre TCE y los siguientes compuestos y factores; estireno, mercurio y ruido (95 dB).</p>
Cobertura normativa existente	D.S. 148/2003

4.5.7 Cloruro de vinilo

Descripción General	El cloruro de vinilo, también conocido como cloroetano, cloroetileno, monocloruro de etileno o monocloroetileno, es un gas incoloro, inflamable e inestable a altas temperaturas. El cloruro de vinilo existe en forma líquida si se mantiene bajo alta presión o a temperaturas bajas. El cloruro de vinilo es una sustancia manufacturada que no ocurre naturalmente en el ambiente; sin embargo, puede formarse en el ambiente cuando otras sustancias manufacturadas, por ejemplo, el tricloroetileno, tricloroetano y tetracloroetileno, son degradadas por ciertos microorganismos. El
----------------------------	--

	<p>cloruro de vinilo es ligeramente soluble en agua, pero es soluble en la mayoría de los solventes orgánicos.</p> <p>La mayor parte del cloruro de vinilo producido se usa para fabricar un polímero llamado cloruro de polivinilo (PVC), el que consiste de una cadena larga de unidades de cloruro de vinilo. El PVC se usa para fabricar una variedad de productos de plástico, entre los que se incluyen cañerías, revestimientos de alambres y cables y materiales para empaque. El PVC se usa también en tapices de muebles y automóviles, cubiertas de murallas, artículos para el hogar y partes para automóviles. Durante un tiempo, el cloruro de vinilo se usó como refrigerante, como propulsor de aerosoles y en algunos cosméticos.</p>
Toxicidad	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: la exposición aguda a un alto nivel de cloruro de vinilo puede producir dolor de cabeza, mareos, somnolencia y pérdida del conocimiento. Los niveles extremadamente altos pueden ser letales. La exposición de trabajadores a altos niveles de cloruro de vinilo a resultado en flujos sanguíneos alterados en las manos. Se ha determinado un nivel mínimo de riesgo en 0,5 ppm para exposición aguda por inhalación (< 14 días) y de 0,03 ppm para una exposición intermedia (15 a 364 días). • Toxicidad crónica: la exposición prolongada a esta sustancia en trabajadores ha resultado en alteraciones en el hígado que van desde hipertrofia e hiperplasia hasta degeneración hepatocelular. Estudios en trabajadores que han respirado cloruro de vinilo por muchos años, han mostrado un incremento en la incidencia de cáncer de hígado, pero otros cánceres también han sido asociados con la exposición ocupacional al cloruro de vinilo. Se ha determinado un nivel mínimo de riesgo en 0,003 mg/kg/día para exposición crónica por ingestión oral (> 1 año). • Efectos cancerígenos: La EPA y NTP han determinado que el cloruro de vinilo es un carcinógeno humano. La IARC también lo clasifica como carcinógeno (Grupo 1).
Fuentes de emisión	<p>La mayor parte del cloruro de vinilo que entra al ambiente proviene de plantas que usan o manufacturan cloruro de vinilo y lo liberan al aire o a aguas residuales, sin embargo, la cantidad que pueden liberar está limitada por la EPA El cloruro de vinilo es también un producto de degradación de otras sustancias químicas sintéticas.</p> <p>El cloruro de vinilo ha entrado al ambiente desde sitios de desechos peligrosos como consecuencia de la disposición inapropiada o al filtrarse de tanques o derrames. Además, el cloruro de vinilo se ha encontrado en niveles muy bajos en el humo de tabaco.</p>
Comportamiento en el medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: el cloruro de vinilo puede migrar al agua subterránea, luego en el agua subterránea anaeróbica, la degradación de este compuesto ocurre lentamente. • Aire: en el aire, se degrada por reacción con radicales hidroxilos generados fotoquímicamente. Su vida media es de aproximadamente 18 horas. Esta sustancia es gaseosa a temperatura ambiente, por lo que se evapora rápidamente del agua y suelo si se encuentra cerca de la superficie.

	<ul style="list-style-type: none"> • Suelo: el cloruro de vinilo también es móvil en el suelo y susceptible a la lixiviación. Este compuesto no se acumula en plantas ni animales.
Interacción con otros químicos	Se han realizado varios estudios en animales para examinar su efecto sobre la toxicidad del cloruro de vinilo. Algunos compuestos estudiados son: etanol, fenobarbital, aroclor 1254, SKF525A y otros.
Cobertura normativa existente	D.S. 148/2003

4.6 PAH (Hidrocarburos policíclicos aromáticos)

4.6.1 Benzo (a) antraceno

Descripción General	El benzo(a)antraceno es un hidrocarburo policíclico aromático compuesto de cuatro anillos de benceno fusionados, está presentes en el medioambiente debido, normalmente, a la combustión incompleta o pirólisis de materias orgánicas, especialmente combustibles fósiles y tabaco.
Toxicidad	<p>Los datos disponibles sobre efectos de esta sustancia en la salud humana son insuficientes. La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: La toxicidad aguda es raramente reportada en humanos. No hay datos suficientes en la literatura que ayuden a determinar los efectos concretos del benzo(a)antraceno en solitario. • Toxicidad crónica: No hay datos suficientes en la literatura que ayuden a determinar los efectos concretos del benzo(a)antraceno en solitario. • Efectos cancerígenos: La EPA ha clasificado al benzo(a)antraceno como probable cancerígeno para los humanos, mientras que la IARC como un posible carcinógeno (Grupo 2B)
Fuentes de emisión	
Comportamiento en el medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: Cuando el benzo(a)antraceno es liberado en el agua, es rápidamente adsorbido por los sedimentos y partículas en la columna de agua incluyendo el fitoplancton y zooplancton. Sin embargo, pequeñas concentraciones pueden permanecer casi indefinidamente. El benzo(a)antraceno disuelto se someterá a fotólisis. La biodegradación será poco importante, excepto en los sedimentos, en los que la vida media puede ser cerca de un año si existen colonias de organismos aclimatados de derrames previos. • Aire: En la atmósfera el benzo(a)antraceno se encuentra tanto en fase vapor como adsorbido en partículas. Los PAHs se concentran en partículas microscópicas y aerosoles. Estas partículas se transportan, pero son

	<p>sometidas a sedimentación gravitacional y barridos por la lluvia y la nieve. El benzo(a)antraceno es sometido a fotólisis y fotooxidación.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suelos y sedimentos: Cuando el benzo(a)antraceno llega al suelo, permanece en las capas más superficiales hasta que es fuertemente absorbido. Aunque el benzo(a)antraceno en estado libre fotolizará cuando quede expuesto a la luz, no hay evidencia de que las moléculas adsorbidas fotodegraden.
Cobertura normativa existente	No existe información en normativa nacional

4.6.2 Benzo (a) pireno

Descripción General	El benzo(a)pireno es un hidrocarburo policíclico aromático compuesto de cinco anillos de benceno fusionados.
Toxicidad	<p>La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: La toxicidad aguda es raramente reportada en humanos. No hay datos suficientes en la literatura que ayuden a determinar los efectos concretos del benzo(a)pireno en solitario. La exposición se produce por inhalación, contacto con la piel o ingestión. • Toxicidad crónica: El contacto prolongado o repetido puede producir sensibilización de la piel. Puede causar daño genético hereditario en células germinales humanas. Puede producir alteraciones en el desarrollo o la reproducción humana. • Efectos cancerígenos: La EPA y la IARC (Grupo 1) ha clasificado al benzo(a)pireno como probable cancerígeno para los humanos. Está considerada la novena sustancia más peligrosa debido a su potencial tóxico en la salud humana. En humanos la exposición en el trabajo ha sido asociada a cáncer de pulmón, vejiga, esófago, labio, boca, faringe, melanoma y sistema linfático.
Fuentes de emisión	
Comportamiento en el medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: Si el benzo (a) pireno es liberado en agua, es absorbido muy rápidamente por los sedimentos y partículas. No hidroliza pero es bioconcentrado por organismos acuáticos que no pueden metabolizarlo. Puede someterse a fotodegradación cerca de la superficie. La adsorción a sedimentos y partículas pueden retrasar notablemente la biodegradación, fotodegradación y evaporación. Es muy tóxica para los organismos acuáticos. Puede producirse una bioacumulación de esta sustancia en peces, plantas y moluscos. La sustancia puede causar efectos prolongados en el medio acuático.

	<ul style="list-style-type: none"> • Aire: El benzo(a)pireno liberado en la atmósfera se asocia con partículas que son transportadas grandes distancias. Puede estar sujeto a fotodegradación directa. • Suelos y sedimentos: Si el benzo(a)pireno es liberado en el suelo es adsorbido fuertemente y no llega a lixiviar hasta el agua subterránea. Sin embargo, su presencia en aguas subterráneas indica que puede ser transportado por otros mecanismos. No sufre hidrólisis y la evaporación no es significativa. La biodegradación parece ser un importante proceso en suelos.
Cobertura normativa existente	D.S. 143/2008

4.6.3 Benzo (b) fluoranteno

Descripción General	El benzo(b)fluoranteno es un hidrocarburo policíclico aromático compuesto de cinco anillos de benceno fusionados.
Toxicidad	<p>Los datos disponibles sobre efectos de esta sustancia en la salud humana son insuficientes.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: La toxicidad aguda es raramente reportada en humanos. No hay datos suficientes en la literatura que ayuden a determinar los efectos concretos del benzo(b)fluoranteno en solitario. • Toxicidad crónica: No hay datos suficientes en la literatura que ayuden a determinar los efectos concretos del benzo(b)fluoranteno en solitario. • Efectos cancerígenos: La EPA ha clasificado al benzo(b)fluoranteno como probable cancerígeno para los humanos. Puede originar lesión genética en los seres humanos. La IARC lo clasifica como un posible carcinógeno (Grupo 2B).
Fuentes de emisión	
Comportamiento en el medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: La volatilización, la fotólisis y la fotooxidación del benzo(b)fluoranteno pueden darse, pero la mayoría es adsorbido a los sedimentos, por lo que el resto de procesos no serán significativos. La bioconcentración del benzo(b)fluoranteno puede ser importante, aunque los peces pueden metabolizar rápidamente PAH's. • Aire: La vida media atmosférica se ha estimado en 1 día por la reacción en fase vapor del benzo(b)fluoranteno con radicales hidroxilo. El benzo(b)fluoranteno adsorbido no reaccionará con radicales hidroxilo. La fase vapor de benzo(b)fluoranteno fotolizará rápidamente en la atmósfera, pero no lo hará si existe como compuesto adsorbido. • Suelos y sedimentos: El benzo(b)fluoranteno en el suelo se adsorbe fuertemente. Su lixiviación hacia las aguas subterráneas y volatilización serán, por lo tanto, procesos relativamente insignificantes.

Cobertura normativa existente	No existe información en normativa nacional
--------------------------------------	---

4.6.4 Benzo (k) fluoranteno

Descripción General	El benzo(k)fluoranteno es un hidrocarburo policíclico aromático compuesto de cinco anillos de benceno fusionados.
Toxicidad	<p>El benzo(k)fluoranteno se puede absorber por inhalación del aerosol y a través de la piel.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: No hay información sobre los efectos de una exposición intensa en un periodo corto. • Toxicidad crónica: No se ha encontrado información sobre los efectos de una exposición a largo plazo. • Efectos cancerígenos: La EPA y la IARC (Grupo 2B) han clasificado este compuesto como posible carcinógeno para los seres humanos.
Comportamiento en el medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: Cuando el benzo(k)fluoranteno es liberado en el agua, rápidamente es adsorbido por los sedimentos y partículas presentes en la columna de agua. • Aire: La presencia de benzo(k)fluoranteno lejos de las fuentes, demuestra su gran potencial de ser transportado y su resistencia a sufrir degradación de su predominante estado atmosférico, asociado con partículas microscópicas y aerosoles. Estas partículas son transportadas, pero sufren sedimentación gravitacional y barrido por la lluvia y la nieve. • Suelos y sedimentos: Cuando el benzo(k)fluoranteno es derramado en el suelo, permanece en las capas superficiales hasta que es fuertemente adsorbido. El benzo(k)fluoranteno, como otros hidrocarburos aromáticos polinucleares, se degrada lentamente en suelo.
Cobertura normativa existente	No existe información en normativa nacional

4.6.5 Dibenzo (a,h) antraceno

Descripción General	El dibenzo(a,h)antraceno es un hidrocarburo policíclico aromático compuesto de cinco anillos de benceno fusionados.
Toxicidad	<p>El dibenzo(a,h)antraceno se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: El dibenzo(a,h)antraceno irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio.

	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad crónica: El dibenzo(a,h)antraceno puede tener efectos sobre la piel, dando lugar a fotosensibilización y a fotoalergia. • Efectos cancerígenos: La EPA y la IARC (Grupo 2A) han clasificado este compuesto como probable carcinógeno para los seres humanos.
Fuentes de emisión	
Comportamiento en el medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: Si el dibenzo(a,h)antraceno es liberado en el agua, es fuertemente adsorbido por los sedimentos y partículas presentes en la misma. No hidroliza y la volatilización no es un proceso importante. Bioconcentra en determinados organismos acuáticos. Dado que el dibenzo(a,h)antraceno absorbe fuertemente la radiación solar, se cree que puede sufrir fotólisis directa. • Aire: El dibenzo(a,h)antraceno en la atmósfera se asocia a partículas y puede ser transportado largas distancias. Su presencia en áreas remotas a los focos demuestra este potencial así como de la considerable estabilidad del dibenzo(a,h)antraceno en el aire. • Suelos y sedimentos: Si el dibenzo(a,h)antraceno es liberado en el suelo, será adsorbido fuertemente al suelo y no lixiviará a las aguas subterráneas. No hidroliza o evapora desde los suelos o superficies, pero es sometido a biodegradación en suelos.
Cobertura normativa existente	No existe información en normativa nacional

4.6.6 Indeno (1,2,3cd) pireno

Descripción General	El indeno(1,2,3-c,d)pireno es un hidrocarburo policíclico aromático compuesto de seis anillos de benceno fusionados. Es un sólido amarillo con forma de aguja, se usa en la investigación y es un componente de los gases de los motores de gasolina y del humo del tabaco. No existe producción comercial.
Toxicidad	<p>El indeno(1,2,3-c,d)pireno se puede absorber por inhalación y a través de la piel.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: No hay información sobre los efectos de una exposición intensa en un periodo corto. • Toxicidad crónica: No se ha encontrado información sobre los efectos de una exposición a largo plazo. • Efectos cancerígenos: La EPA y la IARC (Grupo 2B) han clasificado este compuesto como posible carcinógeno para el hombre, ya que se ha demostrado que causa cáncer de piel y pulmón en animales.
Comportamiento en el medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: El indeno(1,2,3-c,d)pireno que es transportado al agua será adsorbido fuertemente por partículas en suspensión, biota y sedimentos. Tiene un elevado potencial de bioconcentración. No se ha encontrado información sobre la posible volatilización, fotólisis, hidrólisis o biodegradación del

	<p>indeno(1,2,3-c,d)pireno en agua, pero sí que puede afirmarse que es persistente en medios acuáticos y se concentrará en los sedimentos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aire: La mayor parte del indeno(1,2,3-c,d)pireno en la atmósfera es adsorbido por las partículas en suspensión. Además, en ausencia de fotodescomposición u otras transformaciones químicas, el destino del indeno(1,2,3-c,d)pireno atmosférico dependerá principalmente de procesos físicos tales como deposición seca o húmeda. • Suelos y sedimentos: El indeno(1,2,3-c,d)pireno que es transportado a los suelos será adsorbido fuertemente y apenas lixiviará. La volatilización desde la superficie de los suelos no será importante debido a su baja presión de vapor. No se ha encontrado información sobre la hidrólisis o biodegradación del compuesto en los suelos.
Cobertura normativa existente	No existe información en normativa nacional

4.6.7 Criseno

Descripción General	El criseno es un hidrocarburo policíclico aromático compuesto de cinco anillos de benceno fusionados. Se encuentra mayormente como subproducto gaseoso de la combustión incompleta de fósiles, madera, alquitrán de hulla y creosota.
Toxicidad	<p>La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol, a través de la piel y por ingestión. Se considera muy tóxica para los organismos acuáticos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: La toxicidad aguda es raramente conocida en humanos debido a la exposición a criseno individualmente. Los efectos son irritación de ojos y piel por contacto, e irritación de nariz y garganta por la inhalación. • Toxicidad crónica: No se ha encontrado información sobre los efectos de una exposición a largo plazo. • Efectos cancerígenos: La EPA y la IARC (Grupo 2B) han clasificado este compuesto como posible carcinógeno para el hombre, ya que se ha demostrado que causa cáncer de piel, hígado y pulmón en animales. Este tipo de carcinógeno también podría tener el potencial de causar daño a la salud reproductiva en humanos.
Fuentes de emisión	<p>El criseno, como la mayoría de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH, de su sigla en inglés), se forma durante la combustión incompleta de carbón, petróleo y la gasolina, la basura y otras sustancias orgánicas como el tabaco y la carne a la parrilla.</p> <p>Algunas industrias que pueden generar emisiones de este compuesto son las plantas que produzcan coque, alquitrán de hulla y asfalto y plantas donde se ahúmen productos.</p>
Comportamiento en el medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: Cuando el criseno es liberado en el agua, es adsorbido fuertemente a los sedimentos y partículas. No hidroliza y apenas evapora. Puede sufrir bioconcentración en determinados organismos y fotodegradación cerca de

	<p>la superficie del agua. Sin embargo, la tasa de fotólisis puede verse afectada si el criseno es adsorbido en partículas en suspensión.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aire: El criseno liberado en la atmósfera suele asociarse con partículas en suspensión y puede ser transportado largas distancias. Puede ser sometido a fotodegradación directa, pero las evidencias sugieren que la adsorción puede afectar a la tasa de este proceso. • Suelos y sedimentos: Si el criseno es liberado en el suelo, será adsorbido muy fuertemente al suelo y no se espera que lixivie a las aguas subterráneas. No hidrolizará y la evaporación no será significativa. El criseno podría sufrir biodegradación; si bien, los datos al respecto no son claros.
Interacción con otros químicos	Dado que las personas suelen estar expuestas a los PAH en mezclas en lugar de a alguno individualmente, es relevante ver las posibles interacciones de manera global. El criseno inhibe significativamente los sarcomas inducidos por benzo(a)pireno en ratones.
Cobertura normativa existente	No existe información en normativa nacional

4.7 Fenoles

4.7.1 Fenoles

Descripción General	El Fenol en forma pura es un sólido cristalino de color blanco-incoloro a temperatura ambiente y constituye la materia prima para la fabricación de otros reactivos y de productos finales.
Toxicidad	<p>El Fenol, es un sólido cristalino incoloro, se absorbe fácilmente por todas las rutas de exposición, y puede ocasionar efectos sistémicos bajo cualquiera de esas rutas y puede producir daños graves de la piel. La sustancia es tóxica para los organismos acuáticos. Se utiliza para producir resinas Fenólicas para las industrias de construcción, automóviles y electrodomésticos, como desinfectante, y en medicamentos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad aguda: El vapor de la sustancia es corrosivo para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La inhalación del vapor del fenol puede originar edema pulmonar. El Fenol puede causar efectos en el sistema nervioso central, el corazón y el riñón, dando lugar a convulsiones, alteraciones cardíacas, fallo respiratorio e irritación en las vías respiratorias, colapso y coma, temblores musculares. La exposición puede causar la muerte. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. • Toxicidad crónica: La exposición repetida a Fenol puede causar daño renal, daños en el hígado y cambios de coloración de la piel. La exposición crónica también se ha relacionado con el incremento del riesgo de problemas en las arterias coronarias e insuficiencia de suministro de sangre al corazón. La exposición crónica de niños puede ser aún más grave que la de los adultos.

	<ul style="list-style-type: none"> • Efectos cancerígenos: No existen pruebas adecuadas de carcinogenicidad en humanos y animales, o no hay información disponible por lo que la IARC, la EPA y la organización ACGIH lo consideran como no clasificable como carcinógeno humano. Sin embargo, el fenol es un mutágeno y puede causar cambios genéticos.
Fuentes de emisión	El fenol es tanto una sustancia natural como manufacturada. Este compuesto se utiliza para fabricar plásticos, en la industria del petróleo, manufactura de nylon, resinas de époxi y policarbonatos, herbicidas, preservantes para madera, fluidos hidráulicos y otros. También como desinfectante en productos de limpieza domésticos y en productos de consumo como enjuague dental, lociones antisépticas y pastillas para la garganta. Otras fuentes de emisión de fenol pueden ser a través del tubo de escape de automóviles, humo de cigarrillos y combustión de madera.
Comportamiento en el medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: Teniendo en cuenta la alta solubilidad relativa del fenol en agua con respecto al aire, y su baja volatilidad a temperatura ambiente, éste se distribuye mayoritariamente en el agua. El principal proceso que sufre en el agua es el de biodegradación. Si la biodegradación es lo suficientemente lenta, en agua iluminada por el sol, puede sufrir una foto-oxidación con radicales peróxido producidos fotoquímicamente. • Aire: Desde el aire, el fenol pasa al agua y los suelos por deposición húmeda. La volatilización del fenol desde suelos y aguas es muy lenta. No permanece en el aire por mucho tiempo (generalmente la mitad es removido del aire en menos de un día). La mayor parte del fenol en la atmósfera es degradado por reacciones fotoquímicas. El resto, desaparece del aire por deposición húmeda (lluvia). • Suelos y sedimentos: El fenol depositado en el suelo, se mueve por lixiviación a través de éste, gracias a la acción de la lluvia, llegando a las aguas subterráneas. La remoción también es producida por degradación tanto biótica como abiótica. • Biota: Hay fenoles que actúan a nivel fisiológico dentro de la planta ejerciendo una función de señalización celular en condiciones de estrés abiótico. Algunos fenoles actúan como agentes estabilizadores de membranas celulares, interactuando con fosfolípidos asimétricos y formando complejos con componentes específicos de membrana, de esta forma ayudan a mantener el grado de fluidez.
Interacción con otros químicos	El fenol es un buen antioxidante, que actúa como un agente de captura de radicales. También es un material combustible en sí mismo, que se quema en presencia de oxígeno, y puede producir monóxido de carbono como producto de combustión incompleta, el cual es un gas tóxico. Se ha comprobado que el fenol es promotor de tumores en animales de laboratorio, al encontrarse en mezclas con compuestos como el benceno, acetona, hidroquinona y pentobarbital.
Cobertura normativa existente	No existe información en normativa nacional

5 Conclusiones

Se realizó un análisis de los eventos de contaminación asociados a la matriz suelo con daño a la salud humana ocurridos a nivel nacional, identificando contaminantes de interés y una revisión de las normas chilenas existentes. Tras esto, se realizó una identificación de contaminantes de interés de relevancia en organismos internacionales y en las normativas analizadas en el capítulo anterior. Con esta información se diseñó un criterio para la selección de los contaminantes, el que adicionalmente contó con otras fuentes de información tales como bases de datos de la OMS y de la USEPA. Luego se separaron los analitos en siete grupos de contaminantes, correspondientes a metales y metaloides, BTEXN, TPH, compuestos organoclorados, pesticidas organoclorados y otros (fenoles, asbestos y cianuro).

Posteriormente se revisó y priorizó aquellos listados por organismos o convenios internacionales, finalmente revisando su relevancia en Chile en cuanto a las investigaciones realizadas respecto a contaminación de suelos. Ocasionalmente, se revisaron estudios nacionales e internacionales específicos donde fuesen relevantes para la elección de los contaminantes y otras bases de datos (ej. clasificación según potencial cancerígeno de la *International Agency for Research on Cancer* - IARC). Finalmente, se presentaron los contaminantes seleccionados, para los cuales se realizaron fichas toxicológicas en las cuales se especificaron toxicidad, fuentes de emisión, comportamiento en el medio ambiente entre otros.

La definición de contaminantes prioritarios para normar en Chile se considera de gran valor, ya que permite orientar las investigaciones en cuanto a qué contaminantes debiesen ser investigados según tipo de industria o uso pasado. Es este además el primer paso hacia una norma de suelos para el país.

6 Actividad 3.4 Reunión de presentación de resultados

Se realizó una reunión virtual con la contraparte técnica en la que se presentaron los resultados del informe de avance del estudio, el día 16 de diciembre de 2020. La presentación en formato PDF se incluye en el Anexo 5.



SUBSECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE

Análisis de metodologías internacionales y determinación de contaminantes a normar en suelo

608897-70-LE20

INFORME FINAL

CAPÍTULO 4: IDENTIFICACIÓN DE CONTAMINANTES DE INTERÉS A
NORMAR EN EL PAÍS, MEDIANTE UN ANÁLISIS DE VACÍOS, BRECHAS Y
OPORTUNIDADES

Rev. 2

Abril 2021



Información del documento

Estudio	Análisis de metodologías internacionales y determinación de contaminantes a normar en suelo		
Mandante	Subsecretaría del Medio Ambiente		
ID licitación	608897-70-LE20	Código proyecto	P2003
Informe	Informe final Capítulo 4	Versión	Rev2

Control de cambios

	Revisión 0	Revisión 1	Revisión 2
Elaborado por	Jorge Alcaíno Francisca Mihovilovic Ainhoa Goyeneche Paul Lorca Pilar Pantaleón Guillermo García Alfonso Álvarez Fernanda Carrasco	Jorge Alcaíno Francisca Mihovilovic Ainhoa Goyeneche Paul Lorca Pilar Pantaleón Guillermo García Alfonso Álvarez Fernanda Carrasco	Jorge Alcaíno Francisca Mihovilovic Ainhoa Goyeneche Paul Lorca Pilar Pantaleón Guillermo García Alfonso Álvarez Fernanda Carrasco
Fecha	14-03-2021	12-04-2021	23-04-2021
Revisado por	Ainhoa Goyeneche	Ainhoa Goyeneche	Ainhoa Goyeneche
Fecha	15-03-2021	12-04-2021	26-04-2021
Aprobado por	Jorge Alcaíno	Jorge Alcaíno	Jorge Alcaíno
Fecha	15-03-2021	13-04-2021	26-04-2021

EnSoil Ambiental SpA

Av. Apoquindo 6410 Of 605
Las Condes, Santiago
+56 9 8250 6380
www.ensoil.cl

Contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	5
2	ACTIVIDAD 3.4 ANÁLISIS DE VACÍOS, BRECHAS Y OPORTUNIDADES DE NORMAR CONTAMINANTES Y ANÁLISIS DE PROBABLES VALORES OBJETIVO	7
2.1	ANÁLISIS DE VACÍOS, BRECHAS Y OPORTUNIDADES	7
2.1.1	Análisis FODA	8
2.1.2	Conclusiones.....	14
2.2	DEFINICIÓN DE PROBABLES VALORES OBJETIVO PARA CONTAMINANTES PRIORITARIOS.....	14
2.2.1	Escenarios de exposición	16
2.2.2	Tipos de contaminantes (umbral y no umbral).....	16
2.2.3	Áreas mineralizadas.....	18
2.2.4	Biodisponibilidad.....	18
2.2.5	Metodología de cálculo de valores objetivo	22
2.3	PRESENTACIÓN DE VALORES OBJETIVO	30
2.3.1	Valores objetivo para los metales.....	30
2.3.2	Valores objetivo para otros grupos de contaminantes.....	31
2.3.3	Comparación de los valores propuestos.....	34
2.3.4	Factores y aspectos a evaluar para definición final de valores objetivo	36
2.4	CONCLUSIONES.....	39
3	ACTIVIDAD 3.5 DIFUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO	39

Anexos

Anexo 1 – Preguntas realizadas en entrevistas sobre metodología para determinación de valores de referencia

Anexo 2 – Planilla de cálculo de valores de referencia para metales (Excel)

Anexo 3 – Cálculo de valores de referencia de arsénico y mercurio con RBCA Tool Kit

Anexo 4 – Valores de todas las normas para los contaminantes seleccionados (Excel)

Anexo 5 – Tríptico de difusión del estudio, versión color

Anexo 6 – Tríptico de difusión del estudio, versión para imprimir

Anexo 7 – Presentación de informe final

Tablas

Tabla 1 – Factores de exposición por ingestión para escenario residencial con receptor sensible (niño de 5 años)	24
Tabla 2 – Factores de exposición por ingestión para escenario Industrial con receptor adulto	24
Tabla 3 – Factores de exposición por contacto dermal para escenario residencial con receptor sensible (niño de 5 años)	25
Tabla 4 – Factores de exposición por contacto dermal para escenario industrial con receptor adulto	26
Tabla 5 – Factores de exposición por inhalación para escenario residencial con receptor sensible (niño de 5 años)	27
Tabla 6 – Factores de exposición por inhalación para escenario industrial con receptor adulto	27
Tabla 7 – Factores para el cálculo del PEF y Q/C.....	28
Tabla 8 – Resumen de aspectos relevantes conversados en entrevistas.....	29
Tabla 9 – Valores objetivos para metales	31
Tabla 10 – Valores objetivo para otros grupos de contaminantes.....	32

Figuras

Figura 1 – Esquema de funcionamiento de las normas primarias	13
Figura 2 – Esquema de dosis umbral. Elaboración propia	17
Figura 3 – Valores de referencia propuestos por Ingeniería Alemana	34
Figura 4 – Ecuación genérica de la USEPA para evaluación de contaminantes mutagénicos.....	38

1 Introducción

En capítulos anteriores se ha realizado un exhaustivo análisis de las legislaciones relativas a la gestión de suelos contaminados en aquellos países donde ésta se encuentra más desarrollada, y en aquéllos que tienen unas condiciones de uso del suelo y de características técnicas similares a las condiciones que existen en Chile: Alemania, Australia (Estado de Queensland), Brasil (Estado de Sao Paulo), Canadá (Provincia de British Columbia), España (País Vasco y Andalucía), México, Estados Unidos (Estado de California), Países Bajos e Italia.

El impacto que determinadas actividades antrópicas, tanto industriales, mineras, como agropecuarias, generan en la calidad del suelo es algo conocido, o presentido, desde hace mucho más tiempo. Es a partir de esta inquietud, cuando se empieza a desarrollar un conocimiento científico y técnico sobre las características que tiene la contaminación del suelo, sus efectos sobre el agua subterránea y superficial, la biota, y sus consecuencias sobre el entorno en general, y sobre la salud humana en particular.

De este conocimiento surge la necesidad de generar un marco legislativo cuyo objetivo sea prevenir la contaminación del suelo, proteger la salud de las personas y los ecosistemas. La definición de este marco legislativo presenta dificultades. Dificultades administrativas, de gestión, técnicas y de valoración de las consecuencias que dicha legislación puede tener en el desarrollo de determinadas actividades económicas, pues implica necesariamente un cambio en los procesos y en la cultura de producción del país. Es importante comprender que el marco legislativo para la gestión de suelos es complejo, y no radica simplemente en definir valores objetivo para el suelo (por ejemplo, en una norma primaria). Esto último es importante y vital, pero antes (o en paralelo) se deben resolver una serie de problemas y tomar decisiones que pasan por temas técnicos, políticos y sociales.

Por un lado, están las dificultades administrativas y de gestión que supone la legislación sobre la contaminación de suelos. La primera es la asignación de competencias y responsabilidades dentro de la estructura administrativa de cada país, siendo evidente que la asignación de las responsabilidades de gestión debe estar acompañada con la provisión de medios técnicos y humanos suficientes para hacer frente a esta gestión. En las distintas legislaciones analizadas existe también heterogeneidad en este aspecto. Desde sistemas muy centralizados, donde la responsabilidad recae en el Estado Central (ej. Alemania, Países Bajos), frente a otros, en los cuales esta responsabilidad recae en Administraciones Regionales, e incluso locales, a nivel de Municipios (ej. Australia, Canadá, USA).

El principal aspecto que debe definir la legislación en materia de suelos contaminados es el proceso administrativo que debe seguir a su vez el proceso técnico de caracterización y potencial descontaminación del suelo. Definir quién tiene la obligación de hacer una caracterización del suelo, qué tipo de información debe reportar, a quién, y qué consecuencias tienen los resultados de esa caracterización, en el caso en el que resulte que el suelo se considere como contaminado. En algunos casos, como en España, la condición de un suelo contaminado se debe reflejar en una nota en el Registro de la Propiedad, que es pública, de manera que los condicionantes en el uso de dicho suelo sean conocidas por cualquiera que se pudiera sentir afectado.

En el caso, en el que no existe una legislación específica, como sucede en Chile, las investigaciones de contaminación de suelos se inician por muy diversos motivos, bien porque estos ingresan al SEIA por el literal O.11 del Decreto 40, el SEA toma nota de un proceso de contaminación, la autoridad lo indica como requerimiento de un sumario sanitario, existe un dictamen del Tribunal Ambiental, o existe una iniciativa por parte del Ministerio del Medio Ambiente en una determinada área debido a presiones por la comunidad

o como parte del desarrollo de catastros. Esto genera una disparidad en la gestión del suelo, con criterios heterogéneos y genera en consecuencia indefinición legal, lo que no fomenta iniciativas privadas o voluntarias de caracterización y remediación de suelos, y dificulta el conocimiento y la información pública sobre sitios potencialmente contaminados. De hecho, en esta situación legal, es muy frecuente que, sobre todo, grandes empresas industriales realicen estudios de suelos, incluso actividades de remediación, de manera privada, sin comunicarlas a la Administración.

Aquí surge otra de las dificultades a la hora de legislar sobre suelos contaminados, y es la derivada de la falta de conocimiento de la situación real del país en materia de contaminación de suelos. Muchos países han abordado esta situación mediante el impulso de la realización de inventarios de suelos potencialmente contaminados a distintos niveles, nacional o regional. Estos inventarios tienen la dificultad de que requieren de grandes recursos técnicos y económicos, y de que no existen registros suficientemente fiables sobre actividades o emplazamientos, en los que pudiera existir una afección del suelo. Esto genera que en los países donde se han desarrollado estos inventarios, ofrezcan, a veces, un número subestimado de sitios potencialmente contaminados.

Posteriormente entramos a dificultades que surgen a la hora de definir qué se entiende por suelo. En algunos países se distingue lo que es el suelo de lo que se considera roca. Incluso se trata de manera diferente el suelo que está cubierto permanentemente por una lámina de agua (lechos de río, sedimentos lacustres y marinos, etc.). Del análisis de la legislación internacional se comprueba que el concepto “administrativo” de suelo no es homogéneo, lo que conlleva distintas consecuencias a la hora de su gestión. También existe heterogeneidad a la hora de tratar la relación entre un suelo y el agua subterránea. De la revisión realizada anteriormente se ve que en algunas legislaciones se consideran de manera conjunta, mientras que en otras prevalece la estructura administrativa existente, y se tratan por separado.

Otro aspecto técnico que resulta difícil de regular o legislar, consiste en definir la metodología a seguir a la hora de caracterizar un suelo. La dificultad radica en la gran heterogeneidad de los suelos, por su propia naturaleza, entorno y actividades que se desarrollan, o se hubieran desarrollado en el mismo. Se hace pues complicado regular sobre cuántas muestras se deben tomar y analizar, cómo se debe realizar dicha toma de muestras, qué analizar, qué ensayos se deben realizar, etc., para que un informe de caracterización de suelos refleje de manera fiel su calidad ambiental. Por otro lado, en ciertos países, se regulan las condiciones de capacidad técnica de las empresas que realizan los estudios de contaminación de suelo, para que sean aceptados por parte de la Administración, para lo cual deben mostrar evidencias de su capacidad técnica y experiencia, así como que tengan implantada una metodología específica para este fin.

La siguiente dificultad, que es algo vital, que se presenta está en la definición de suelo contaminado. En este caso, se hace preciso definir claramente qué criterios, qué parámetros, límites, y procedimientos de diagnóstico, se consideran para dicha definición. Se ha visto que las legislaciones estudiadas poseen una definición clara de este concepto, ya que de otra manera se generan incertidumbres y diversidad de criterios que dificultan enormemente su gestión.

Para considerar un suelo como contaminado, o como no contaminado, se suelen utilizar niveles de referencia de determinados compuestos químicos, con un efecto nocivo para la salud. A nivel internacional, existe una enorme variabilidad, tanto en los compuestos considerados, como en sus límites o valores de referencia. Teniendo en cuenta las consecuencias que tiene el establecimiento de estos valores de referencia, pues el que un suelo se defina como contaminado, implica consecuencias importantes en cuanto al desarrollo de actividades en el mismo, y en los costes de remediación, este aspecto es uno de los más sensibles a la hora de definir las reglas que definen la gestión de suelos contaminados. En este mismo

sentido, otro factor a tener en cuenta es que cada vez incorporamos nuevos compuestos químicos en nuestros procesos productivos y en nuestros productos finales, cuyas consecuencias para el medio ambiente y para la salud humana no siempre son bien conocidas en el momento de su introducción. Esto implica que la lista de compuestos a tener en cuenta para definir la calidad del suelo deba estar en permanente revisión.

Actualmente en Chile, para definir la “presencia de contaminantes” en un suelo (no sería correcto utilizar la expresión “suelo contaminado”, ya que aún no existe una normativa que lo defina), se deben revisar normativas internacionales. El reglamento SEIA (D.S. 40/2012 MMA), indica en su artículo 11 que, de no existir norma nacional para algún contaminante y matriz ambiental, se debe recurrir a normas de referencia internacionales para evaluar el riesgo, y enumera una lista de 14 países. Los valores de referencia en estas normas se calculan y dependen de factores toxicológicos, de exposición, de riesgo aceptable adicional de cáncer, entre otros, que no corresponden solo a criterios científicos, sino que también a decisiones políticas y sociales.

Es por lo anterior que existe una gran variabilidad entre una y otra norma internacional y, por ejemplo, se pueden encontrar valores de referencia tan disímiles como el de arsénico, que es de 0,68 mg/kg en la norma de Estados Unidos (USEPA) y de 100 mg/kg en la norma de Australia. La existencia de distintas opciones de norma para utilizar, que muchas veces varía considerablemente entre una y otra, se suma a que no hay un criterio uniforme para la selección y aplicación de una norma por sobre la otra. Esto finalmente implica que sería posible encontrar dos estudios en sitios distintos con las mismas concentraciones, en que en uno se haya establecido afección en el suelo y en el otro no.

Este capítulo, trata de aportar luces en estos últimos factores haciendo un análisis y una propuesta de los principales compuestos contaminantes a considerar, sus valores de referencia, y los procedimientos para determinar si la calidad del suelo genera un efecto nocivo para la salud humana y/o los ecosistemas.

2 Actividad 3.4 Análisis de vacíos, brechas y oportunidades de normar contaminantes y análisis de probables valores objetivo

Esta actividad tiene como objetivo el realizar un análisis de vacíos, brechas y oportunidades de normar contaminantes en base al análisis realizado previamente, seleccionando y justificando los contaminantes a normar en el caso de una norma primaria de calidad de suelo, y analizando los probables valores objetivos en función de los efectos a la salud de las personas.

2.1 Análisis de vacíos, brechas y oportunidades

Para el análisis de vacíos, brechas y oportunidades, se realizará un análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas). El análisis FODA es una herramienta de diagnóstico de la situación de un proyecto en un momento determinado de su vida y desarrollo. El análisis se basa en el estudio de las características internas (debilidades o vacíos y fortalezas) y sus características externas (oportunidades y amenazas), lo que servirá para elaborar estrategias para aprovechar las fortalezas, combatir amenazas y explotar oportunidades, tratando de minimizar las debilidades.

El objetivo general del análisis FODA es dar una imagen de la situación actual del proyecto. De esta manera, mediante el análisis FODA se analizan los vacíos y oportunidades, y la conclusión del análisis dejará evidente la brecha para alcanzar el objetivo deseado.

2.1.1 Análisis FODA

Antes de iniciar el análisis, cabe destacar que el objetivo de este es analizar la situación actual con respecto a la legislación en materia de contaminación de suelos, y las oportunidades y amenazas presentes actualmente para la determinación de una norma primaria de suelos.

Fortalezas

Existencia de Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente (Ley 19.300)¹ del año 1994

La Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente (LBGMA) es una norma que nace en el contexto del retorno a la democracia en Chile y a la adquisición de compromisos internacionales en materia medio ambiental, en especial aquellos adquiridos en la Cumbre de Río del año 1992. Así es como en el mensaje de la LBGMA se indica que está “... llamado a ser uno de los principales instrumentos para alcanzar los objetivos perseguidos por la política ambiental. En efecto, los diferentes títulos, párrafos y disposiciones de la ley responden a una serie de principios generales básicos que conforman la política ambiental de este gobierno, sin cuya existencia sus disposiciones aparecerían vacuas y carentes de un sentido y objetivos específicos claros. Será éste pues, el primer cuerpo normativo que recoja en forma integrada y global los principales temas ambientales y los principios que a nuestro juicio deberán ser sustento y fundamento de cuerpos legales posteriores”, por ende, demuestra el interés gubernamental por legislar entorno a la contaminación y protección del medio ambiente. Para ello, esta ley crea instrumentos de gestión ambiental, dentro de los cuales se encuentra el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), el cual corresponde a un instrumento de carácter preventivo de protección ambiental, modelo tomado de una iniciativa en Estados Unidos del año 1969 y que luego, en la Declaración de Río 1992 fijó como un estándar mínimo que permita evaluar de manera anticipada proyectos o actividades que pueden generar un impacto en el medio ambiente.

Por lo señalado, el artículo 10 de la LBGMA señala cuales son esos proyectos o actividades que requerirán la elaboración de un Estudio de Impacto Ambiental, y en el artículo 11 se señala cuándo se entenderá que generan o presentan a lo menos un efecto, característica o circunstancia que afecte al medio ambiente. En el caso del suelo, el artículo 11 letra b) “Efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, agua y aire”.

Por otro lado, la LBGMA en el párrafo que refiere a las normas de calidad ambiental y de la preservación de la naturaleza y conservación del patrimonio ambiental, refiere en su artículo 39 lo siguiente: “La ley velará porque el uso del suelo se haga en forma racional, a fin de evitar su pérdida y degradación”.

En resumen, existe actualmente una institucionalidad ambiental robusta en la que podría ser implementado un sistema de gestión de suelos contaminados, que contenga, entre otros instrumentos, una norma de calidad de suelos.

¹ <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=30667>

Existencia de la Guía metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes (Resolución Exenta 406/2013 del MMA²)

Ya se ha avanzado en el desarrollo de la metodología de estudios de contaminación de suelos, por lo que ya existe un documento metodológico que define los procedimientos técnicos para estandarizar la investigación de suelos con potencial presencia de contaminantes. La metodología que se propone en esta guía está basada en varios documentos de carácter internacional (como la guía Investigación de la Contaminación del Suelo del País Vasco (España) (IHOBE de 1998)) y corresponde a la metodología de estudio más común en las normativas revisadas en el presente estudio (revisar Capítulo 2 Sección 2.4.1). En este sentido, ya existe una metodología (si bien mejorable) para recoger datos y analizar las condiciones ambientales del suelo, los que serían contrastados con una futura norma primaria.

Se han realizado estudios de contaminación de suelos en Chile

Existen varios casos emblemáticos de contaminación de suelos (Quintero, Ferrocarriles de Antofagasta, Polimetales de Arica, etc.) que han tenido seguimiento por las autoridades, por lo que ya se han determinado metodologías de trabajo admisibles, estableciéndose precedentes legales. Se realizó un estudio en profundidad del material existente en el estudio “Elaboración de lineamientos estratégicos con miras al desarrollo de instrumentos normativos y de gestión de suelos” elaborado por EnSoil (2021). Estas investigaciones ayudan a determinar los contaminantes de interés que debiese contener una futura norma primaria.

Oportunidades

Creciente preocupación por leyes medioambientales

Junto con los nuevos movimientos sociales, se ha declarado una creciente preocupación por la protección del medio ambiente en general. Las exigencias de la población, junto con algunos casos de población expuesta a contaminantes, con gran repercusión mediática, ha generado que las autoridades muestren una creciente preocupación con respecto a la contaminación de suelos.

Por otro lado, se reconoce que Chile se encuentra entre los pocos países de la OCDE que carece de una legislación con respecto a la contaminación suelos y por tanto deja reflejo de la necesidad de una norma primaria de calidad.

Existencia del Comité de expertos para la realización de Anteproyecto de Ley General de Suelos

Se ha generado un comité de expertos para la legislación de una futura Ley General de Suelos, que se encuentra encabezada por la senadora Carmen Gloria Aravena y donde participan otros representantes de la mesa de suelos, como la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, la ONG Suelo Sustentable y el Colegio de Geólogos de Chile, además de científicos de la Universidad de Chile, Universidad Austral, Universidad de Concepción, Universidad de O’Higgins, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad Alberto Hurtado y un representante del senador Elizalde (Iarazon.cl³). Durante una reunión realizada en junio del 2020 se adquirió el compromiso respecto a redactar un borrador con los principales lineamientos de un Ley General de Suelos. Esta Ley estaría enfocada en la protección a la desertificación y erosión de los suelos, pero que

² http://www.mma.gob.cl/transparencia/mma/doc/Res_406_GuiaMetodologicaSuelosContaminantes.pdf

³ <https://www.larazon.cl/2020/06/07/cientificos-y-senadores-de-agricultura-avanzan-en-propuesta-para-una-ley-general-de-suelos/>

también muestra una preocupación por la contaminación y en definitiva su objetivo general es la de la protección de los suelos como recurso. El trabajo que se está realizando en el desarrollo de esta futura ley es una instancia donde se podría incorporar un sistema de gestión de suelos contaminados, en particular una futura norma de calidad de suelos. Sin embargo, debido al aún bajo estado de avance y a la variedad de temas relacionados a suelos que abarcaría la ley, se debe reconocer que este anteproyecto podría complejizar y/o ralentizar la tramitación de modificaciones legales que se requiera para desarrollar una norma de calidad de suelos.

Adhesión de Chile a tratados internacionales

La implementación de una norma primaria de suelos ofrece una muy buena oportunidad de demostrar acciones concretas en cuanto al cumplimiento los tratados internacionales adheridos por Chile como el Convenio de Estocolmo (1998), el Convenio de Rotterdam (1998) o el Convenio de Minamata sobre el Mercurio (2017).

Avance en carbono neutralidad y cierre de centrales termoeléctricas

El avance que se ha ido realizando en el país durante los últimos años en la descarbonización de la matriz energética y en particular en el cierre de centrales termoeléctricas a carbón, es una oportunidad y una instancia de discusión para evaluar el uso futuro de estos sitios y así desarrollar y fortalecer un sistema de gestión de suelos contaminados. Se ha desarrollado una “Guía técnica de buenas prácticas ambientales para el cierre de centrales a carbón”⁴, que incluye a la caracterización de sitios y remediación de suelos dentro de sus lineamientos.

Oportunidad de regularizar la responsabilidad de la descontaminación de los suelos contaminados

Una norma primaria de calidad ambiental del componente suelos puede ayudar a regularizar la responsabilidad de las empresas generadoras de contaminación en caso de que se superen los valores que esta establezca, fijando un instrumento normativo por el cual la autoridad pueda exigir acciones concretas. Esto se extiende a monitoreos preventivos para evitar que ocurra contaminación de suelos.

Clarificación de la gestión administrativa y legal de los suelos

La ausencia de una reglamentación clara genera incertidumbre en la gestión de los suelos, lo que puede limitar en ocasiones proyectos de desarrollo industrial, o de desarrollo urbanístico. Para una empresa industrial o inversora es crucial tener claridad sobre el proceso que se debe seguir y los criterios a considerar a la hora de gestionar un suelo contaminado, o potencialmente contaminado. A la vez que puede disponer de criterios objetivos para determinar la calidad de sus suelos y los riesgos empresariales y reputacionales asociados a la misma. La existencia por tanto de leyes claras en cuanto a la gestión de los suelos contaminados puede revitalizar proyectos, tanto industriales, como de desarrollo de emplazamientos con potencial presencia de contaminantes, que de otro modo estarían detenidos.

⁴ Disponible en: https://4echile-datastore.s3.eu-central-1.amazonaws.com/wp-content/uploads/2020/11/24174706/GIZ_Descarb_Cierre_Tecnico.pdf

Por otro lado, esta reglamentación puede favorecer la realización de actividades de remediación de suelos con la consiguiente mejora ambiental y disminución de riesgos para la salud humana y ecosistemas derivados de un suelo contaminado.

Debilidades

Necesidad de capacitación de los entes reguladores y ejecutores de proyectos ante la nueva normativa

Si bien se han realizado actualmente estudios de suelos, es esperable que se requiera recursos para la capacitación tanto de los entes reguladores y fiscalizadores, como de los ejecutores del proyecto ante una nueva normativa. Los estudios de suelos contaminados son todavía algo incipiente en Chile y es natural que exista desconocimiento e incertidumbre a la hora de aplicar una nueva normativa, y a la hora de valorar la correcta ejecución de los proyectos.

Falta de indicación técnica en cuanto a los contaminantes prioritarios que debiesen ser normados en Chile y ausencia de valores de referencia que permitan “definir” el estado de un suelo como contaminado

Todas las normativas internacionales estudiadas contienen indicaciones de cuando se ha de realizar un estudio de contaminación de suelo, valores de referencia para los contaminantes de interés del país, y una definición de cuando se define un suelo “contaminado” y por tanto se ha de considerar un plan de manejo o remediación de los mismo. El no tener definidos los contaminantes de interés y valores de referencia para estos es una debilidad que debe ser subsanada como prioridad en Chile.

Dificultades para encontrar proveedores locales especializados y con experiencia

No existe una red de proveedores especializados a nivel local en materia de suelos contaminados suficientemente extensa, para hacer frente a la demanda de este tipo de servicios. Son pocas las empresas de ingeniería en suelos contaminados con experiencia, a la vez que es complicado localizar empresas auxiliares de perforación especializados en trabajos medioambientales, equipos de descontaminación, y los costos de laboratorios analíticos son todavía elevados en comparación con los precios que se pueden encontrar en otros países con este mercado más maduro.

Amenazas

Que la normativa generada, sea inaplicable por su complejidad, imposibilidad técnica (capacidad de los laboratorios de realizar los análisis), precio de la investigación, o por ser demasiado restrictiva

Para evitar que la futura norma de calidad de suelos se convierta en un instrumento inaplicable, en el proceso de elaboración se deberán considerar factores de aplicabilidad de la norma, incluyendo disponibilidad de los análisis, costos adicionales que tendrían que ser incurridos por los proponentes, además de las consecuencias y plazos de superarse esta. Además, la futura norma debiese implementarse de manera gradual (aplicando el principio de gradualidad), pudiéndose comenzar con su obligatoriedad en ciertas industrias o usos de suelos, o priorizar ciertos sitios ya definidos según el sistema de gestión.

Que la norma genere conflictos con respecto a valores de metales naturalmente altos en los suelos de Chile

Como ya se ha comentado en varias ocasiones, en varias zonas de Chile, el contenido de arsénico y otros metales en suelos es naturalmente alto (áreas mineralizadas). Debido a que una norma primaria se basa en la protección de la salud humana y no en las concentraciones naturales de ciertos elementos en la matriz

ambiental, inevitablemente existirán zonas naturales que tendrán concentraciones de contaminantes superiores a los valores establecidos en la futura norma de suelos. Estas zonas mineralizadas, en caso que estuviesen generando un potencial riesgo a la población, debiesen ser evaluadas de manera especial (no como contaminación como tal), pudiendo ser gestionadas como un problema de salud pública, tal como son tratadas en legislaciones de otros países.

Definición de competencias entre distintos organismos del Estado

La contaminación de suelos compete a varios organismos del Estado, principalmente al Ministerio del Medio Ambiente y al Ministerio de Salud, además de Sernageomin, MINVU, entre otros, por lo que será necesario definir el papel y competencias de cada uno de los organismos en la gestión de suelos contaminados (en temas como pasivos ambientales mineros, construcción de viviendas sobre suelos con potencial presencia de contaminantes, declaración de un suelo como contaminado, etc.) y en particular en la generación de la norma de calidad primaria (definición de valores de referencia para protección de la salud humana). Se requiere de una coordinación profunda y comunicación activa entre los distintos organismos con competencia en suelos contaminados, además de un proceso de discusión de temas técnicos, donde cada uno aporte desde su área de especialización y se avance hacia un objetivo en conjunto.

Falta de conocimiento de la población

El desconocimiento sobre el proceso de los estudios de suelos, y el significado de los valores de la norma primaria de calidad de suelos (ya que superar los valores no implican un riesgo), puede generar alarma en la población.

Conflictos de interés con respecto a las actuaciones mineras

Con la implementación de un nuevo sistema de gestión de suelos contaminados, y en particular una norma de calidad de suelos, es probable que muchos sitios que contienen relaves, zonas de acopio, botaderos mineros, entre otros pasivos mineros deban ser declarados como contaminados o se exija disponer de medidas de gestión para estos. Lo anterior pudiese generar conflictos con las mineras.

Esta normativa puede ser vista por parte de algunos sectores como la imposición de un sobrecoste a sus operaciones, a la vez que una complicación administrativa a la hora de gestionar el suelo. En la situación actual, los efectos de la contaminación del suelo pasan muchas veces desapercibidos, y no se ejecuta ningún tipo de trabajo para conocerlos, prevenirlos o remediarlos. A su vez, la definición de un suelo como contaminado implica limitaciones en su gestión, que no estaban siendo contempladas de una manera concreta mientras no exista una reglamentación al respecto.

Dificultades técnicas donde se debe llegar a acuerdos

Entre otros temas esto incluye el determinar qué se considerará como un riesgo a la salud aceptable para los contaminantes cancerígenos que se encuentren en el componente suelo. Los valores de referencia se realizan basándose en el riesgo de que 1 persona entre 1.000.000 o 10.000 (10^{-6} o 10^{-4}) puedan desarrollar un cáncer como consecuencia de la exposición a la contaminación. La exposición a este tipo de contaminantes genera un aumento en la probabilidad de desarrollar un cáncer, pero no suponen un efecto inmediato en la salud de las personas, por lo que se consideran contaminantes “no umbral”.

Conflictos con la definición actual de una norma primaria

El sistema chileno se encuentra estructurado para abordar la problemática de la contaminación en base a la definición de los conceptos de contaminante y contaminación. Así, el artículo 2 letra d) de la LBGMA define contaminante como “Todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, luminosidad artificial o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental” y la contaminación la define en la letra c) como la “Presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, en concentraciones o concentraciones y permanencia superiores o inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente”.

Para regular la contaminación, entendida como la definió el artículo 2 citado, la legislación ambiental chilena contempla un instrumento de gestión ambiental denominado normas de calidad, las cuales se distinguen a su vez entre primarias y secundarias. La norma de calidad primaria es aquella que “establece los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o la salud de la población”.

Las normas de calidad ambiental tienen una consecución en cuanto a los demás instrumentos de gestión ambiental, que abordan la forma de gestionar la contaminación, de modo que se da la siguiente estructura (Figura 1):

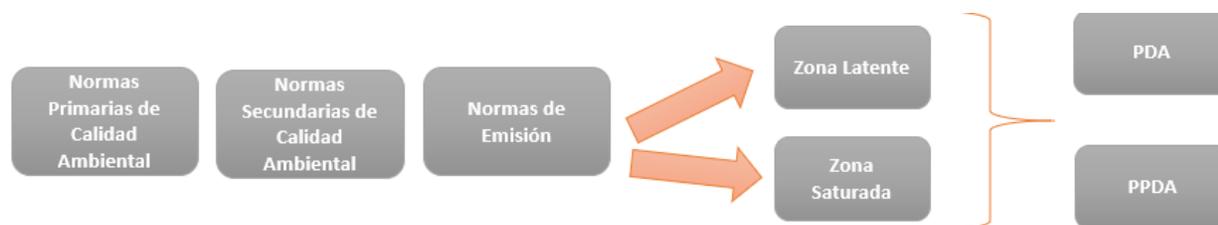


Figura 1 – Esquema de funcionamiento de las normas primarias

Así, las normas de calidad ambiental indican las concentraciones permisibles en una matriz ambiental determinada a fin de no generar un riesgo a la salud de la población, y para ello utiliza la norma de calidad primaria. La superación de los niveles indicados en las normas primarias deriva en la declaración de la zona como latente o saturada. Una regulación de esa manera tiene sentido para las matrices de aire y agua, donde se asume que, por la naturaleza del componente ambiental, los receptores están expuestos directamente a los contaminantes. Cabe destacar que para que exista un riesgo ambiental, deben estar presentes tres elementos: fuente de contaminación, vía de exposición y receptor; con la ausencia de cualquiera de estos elementos, se elimina el riesgo. Para el caso de la matriz suelo, en cambio, las condiciones de vías de exposición y de receptores son sitio-específicas, y no es posible asumir que existe riesgo por el solo hecho de tener concentraciones de contaminantes sobre cierta norma.

En resumen, una de las amenazas para la implementación de un nuevo sistema de gestión de suelos contaminados, y en particular una norma de calidad de suelos es la imposibilidad de aplicar los instrumentos de gestión ambiental actuales (norma primaria, zonas latentes y saturadas, planes de prevención y descontaminación) a la matriz suelo, ya que están diseñados para matrices ambientales como aire y agua. Para solucionar esto se requiere hacer modificaciones a actuales cuerpos legales, con el fin de que permitan

la creación de nuevos instrumentos de gestión aplicables a la matriz suelo. Lo anterior podría transformarse en un proceso lento y complejo si no se le da la prioridad que realmente tiene el tema.

2.1.2 Conclusiones

El análisis FODA identifica el camino ya recorrido en materia de legislación de suelos contaminados y da una idea del camino a recorrer para la correcta aplicación de una legislación que sea aplicable.

De todas estas materias indicadas, la debilidad (vacío) que compete al presente estudio es la ausencia de valores de referencia para la determinación del estado de contaminación de un suelo. En este sentido, se busca utilizar las herramientas actuales (fortalezas) para trazar un camino hacia una norma que indique estos valores.

En términos de amenazas, la más importante es que Chile cuenta con una dificultad normativa para regular los suelos contaminados, dado que las normas de calidad están pensadas para otras matrices ambientales que tienen un comportamiento y manifestación absolutamente distinto, como es el caso del agua y del aire.

En consideración al problema anterior, y la función normativa que tienen las normas de calidad ambiental, en especial la primaria, el Ministerio del Medio Ambiente desarrolló un estudio en el año 2011 denominado “Preparación de antecedentes para la elaboración de la norma de calidad primaria de suelos”, el cual determinó la insuficiencia conceptual para abordar este componente ambiental, explicando que esta no es posible por cuanto éstas contemplan la identificación de las fuentes, vías y rutas de exposición; lo cual hace inviable generar una norma de calidad primaria para el suelo, dado que éste requiere necesariamente una evaluación previa del riesgo, no siendo suficiente la sola presencia de un elemento que podría generar contaminación.⁵

Se requiere por tanto, a fin de incluir el componente suelo a la lógica de las normas primarias de calidad ambiental, que se flexibilice el concepto, y una alternativa planteada por el estudio citado es la modificación del D.S. 93/1995 (derogado y reemplazado por el D.S. 38/2012 MMA “Reglamento para la dictación de normas de calidad ambiental y de emisión”⁶) en su artículo 24 letra d), además de otras modificaciones requeridas en la Ley 19.300 para que los conceptos de zona latente y saturada no apliquen a la matriz suelo. Una discusión más acabada de este tema se puede encontrar en el estudio de (EnSoil, 2021)⁷ en la sección 3.2.1.

Una vez establecidos estos cambios, será posible generar una norma de calidad de suelos y definir los valores de referencia para todos los contaminantes establecidos como contaminantes de interés en presente estudio.

2.2 Definición de probables valores objetivo para contaminantes prioritarios

Los contaminantes prioritarios a normar se han definido anteriormente en el Capítulo 3 (Actividad 3.3). Para estos contaminantes se definirán valores objetivo preliminares.

⁵ Estudio “Preparación de Antecedentes para la elaboración de la norma de calidad primaria de suelos”, páginas 30 y 31, elaborado por Ingeniería Alemana S.A. para el Ministerio del Medio Ambiente el año 2011.

⁶ <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1053036>

⁷ EnSoil. (2021). *Elaboración de lineamientos estratégicos con miras al desarrollo de instrumentos normativos y de gestión de suelos*. Ministerio del Medio Ambiente, Santiago.

El propósito básico de los valores objetivo es asistir en determinar cuándo pudiesen existir riesgos para la salud humana bajo un escenario establecido de presencia de estos contaminantes en el suelo. Lo anterior se realiza mediante el contraste de los valores (concentraciones) de diferentes sustancias obtenidas en el muestreo de un sitio en particular, con aquellas listadas como valores objetivo (o de referencia) por la legislación.

Bajo la metodología de la USEPA de evaluación de riesgos la comparación de valores en un sitio con valores definidos por la legislación se configura como una evaluación Tier 1 (o nivel 1). Una evaluación Tier 2 se haría necesaria cuando uno o más contaminantes superasen estos valores significativamente, y consiste en una evaluación de riesgos sitio-específica; mientras que una evaluación Tier 3 consiste en un estudio avanzado de la contaminación y riesgos asociados lo que puede incluir modelos matemáticos avanzados, estadísticas locales o incluso monitoreo biológico (ej. plomo en la sangre).

El uso de los valores objetivo en un Tier 1 debe ser realizado en el contexto de un modelo conceptual sitio-específico iterativo, revisando siempre que todos los supuestos y condiciones base que se usaron para derivar inicialmente los valores objetivo se cumplan (o sean más conservadoras) en el sitio evaluado. En este sentido, las normativas ambientales revisadas indican que el exceder un valor de referencia no implica automáticamente que haya riesgo, sino que se debiese aumentar el nivel de evaluación realizado (Tier 2, Tier 3). De manera alternativa, si se sobrepasan los valores objetivo, se debiesen implementar inmediatamente opciones de manejo del sitio apropiadas para asegurar la salud humana o derechamente la remediación del sitio asegurándose de poseer todos los datos necesarios. De cualquier forma, la respuesta debe ser determinada caso a caso y ser proporcional al riesgo determinado para evitar gastos innecesarios.

Es importante también establecer una forma de comparar los valores. Se debiesen examinar una serie de estadísticas tales como la mediana, promedio, desviación estándar y el nivel de confianza superior 95% (UCL95). Como mínimo se debe comparar el máximo y el UCL95 con los criterios del Tier 1. La legislación australiana establece que para desestimar un sitio como contaminado al realizar una investigación Tier 1, se deben cumplir dos condiciones como mínimo:

- La desviación estándar de los resultados debiese ser menos que la mitad del valor objetivo; y
- Ninguna muestra debiese exceder de 2.5 veces el valor objetivo.

Es importante notar que lo anterior aplica bajo los criterios de densidad de muestreo requeridos por la legislación australiana (discutidos en el Capítulo 2). Estos no son iguales a los criterios de densidad establecidos por la Guía Metodológica para los cuales no se pudo encontrar un razonamiento técnico, vale decir no se consideran en su definición factores como tamaño de la contaminación, distancia mínima entre muestras, etc.

De cualquier manera, las evaluaciones deben ser realizada por entes competentes y especialistas, ya que es importante no sobreestimar el estado de contaminación de todo un sitio por valores localizados (ej. manchas superficiales de combustibles en un área menor), pero tampoco ignorar valores muy altos que pudiesen indicar un punto de vertido frecuente con posibilidad de impactos en aguas subterráneas y contaminación transportándose fuera del sitio.

2.2.1 Escenarios de exposición

Los efectos a la salud por exposición a sustancias tóxicas pueden dividirse de manera general en efectos agudos y crónicos. Los efectos agudos se relacionan con una exposición de corta duración (minutos, horas, días) mientras que los efectos crónicos se refieren a una o más exposiciones de más larga duración (meses, años). En este último caso los síntomas pueden no ser aparentes por mucho tiempo.

Los valores objetivo para evaluación de suelos contaminados se relacionan con escenarios de riesgos por exposiciones crónicas, no obstante, algunos sitios puedan presentar riesgos agudos; algunos incluso no relacionados con efectos a la salud directos si no que por fuego o explosiones como en el caso de compuestos volátiles inflamables. En este sentido, los escenarios contemplados no incluyen sustancias radioactivas, explosivos no detonados, materiales patogénicos o gases explosivos.

Los escenarios definidos para los valores objetivos se agrupan en las normativas internacionales según uso de suelo, y estos conllevan implícitos una serie de condiciones base relacionadas a los tiempos de exposición y receptores más sensibles presentes en cada uno de estos escenarios.

Los valores objetivo indicados para este proyecto están basados en los siguientes dos escenarios:

- **Escenario residencial:** Uso residencial con acceso a suelo en el sitio y niños como receptores más sensibles.
- **Escenario Industrial:** Uso industrial sin acceso directo a suelo y adultos como receptores más sensibles.

Se han definido estos dos escenarios ya que corresponden al más y menos sensible en cuanto a receptores (niños y adultos), se encuentran incluidos en todas las normativas revisadas, y corresponden con aquellos determinados por la USEPA para sus niveles de referencia.

Para la derivación de los niveles objetivo, se realizan suposiciones científicas en cuanto al potencial de exposición de los receptores a los contaminantes en estos escenarios. Esto incluye al comportamiento de las personas, características fisicoquímicas de los contaminantes, movimiento de los contaminantes entre otras.

2.2.2 Tipos de contaminantes (umbral y no umbral)

Se han establecido dos grandes grupos de contaminantes, aquellos que muestran potencial cancerígeno según la literatura y aquellos que no. Dentro de los cancerígenos se han reconocido dos grupos también de acuerdo con su mecanismo de acción, aquellos que son genotóxicos y los no-genotóxicos.

Los contaminantes no cancerígenos muestran un mecanismo de acción tóxica que se denomina umbral (denominados en inglés como “threshold contaminants”). Esto significa que existe un valor bajo el cual no debiesen esperarse efectos negativos a la salud humana. A este valor umbral se le llama *Reference Dose* (RfD) dentro de la metodología USEPA, *Tolerable Daily Intake* (TDI) en la normativa canadiense y *Toxicity Reference Value* (TRV) en la normativa australiana. De manera simplificada, este valor se deriva usualmente usando valores experimentales extrapolados de estudios animales desde donde se derivan los parámetros toxicológicos *No Observed Effect Level* (NOAEL) o “Nivel Sin efectos Observados” y el *Lowest Observed Effect Level* (LOAEL) o “Nivel más Bajo de Efectos Observados”. Estos conceptos se muestran gráficamente en la Figura 2. Naturalmente el RfD será siempre más bajo que el LOAEL, pero cuanto más bajo depende del factor de seguridad utilizado y la confianza en los estudios en los cuales está basado. En una evaluación de

riesgos se determina el Target Hazard Quotient (THQ) o “Cociente de Riesgo” que es la razón entre la dosis de referencia y la dosis calculada por las diferentes vías de exposición. Al determinar valores objetivos el THQ se deja en 1 (esto se explicará en más detalle en la Sección 2.2.5).

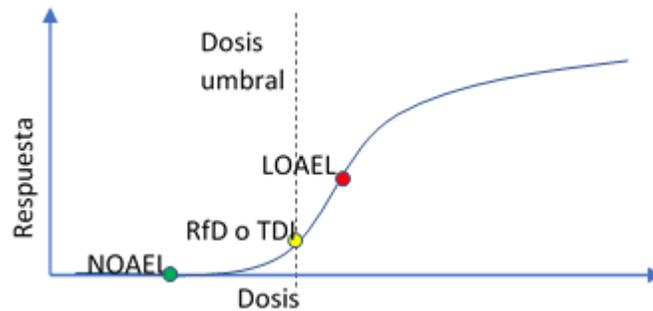


Figura 2 – Esquema de dosis umbral. Elaboración propia

En cuanto a los contaminantes cancerígenos, se reconoce transversalmente que los contaminantes genotóxicos son contaminantes no umbral, por cuanto existen efectos a cualquier dosis, vale decir, que no existe una dosis “segura” (o RfD) ya que la más mínima exposición ya estará causando algún nivel de riesgo de desarrollar cáncer. En teoría, los contaminantes no genotóxicos pueden ser clasificados como umbral, vale decir que existe una dosis bajo la cual no se esperan efectos carcinogénicos, sin embargo, en la práctica algunos países (Canadá, Estados Unidos) no hacen distinción y tratan a todos los contaminantes carcinogénicos como no umbral. Para este estudio se han definido todos los contaminantes carcinogénicos como no umbral.

Los contaminantes no umbral utilizan un método que indica su toxicidad por medio de parámetros denominados Cancer Slope Factor (CSF) “Factor de Pendiente de Cáncer” y Unit Risk Factor (URF) “Factor de Riesgo Unitario”. El CSF es una estimación plausible conservadora de la probabilidad de una respuesta cancerígena de un individuo expuesto a un nivel particular de un contaminante carcinogénico. El URF está expresado en términos de probabilidades de desarrollar cáncer asumiendo datos de un individuo estándar, por ejemplo, consumo de 2L de agua por día o inhalación de 20 m³ de aire al día. En esencia son el mismo dato, pero expresado de manera diferente.

El CSF generalmente es derivado de bases de datos de estudios donde altas dosis son administradas a animales desde las cuales se extrapola a exposiciones menores esperadas para las personas en el medio ambiente (USEPA, 1989)⁸. En este sentido, son extrapolaciones lineales de efectos de altas dosis a bajas dosis. Es reconocido que estas extrapolaciones pueden sobreestimar los efectos a bajas dosis y que los datos entregados son imposibles de probar en la realidad.

En el análisis de contaminantes no umbral lo que se determina en las evaluaciones de riesgo es el Target Risk (TR) o “Nivel de Riesgo Objetivo”, que representa el exceso de riesgo cancerígeno que resultaría de una exposición continua a una sustancia determinada. En diferentes legislaciones el nivel aceptable va desde 1 en 10.000 (10⁻⁴) a 1 en 1.000.000 (10⁻⁶) en incidencia. Para el cálculo de valores objetivo se debe elegir un nivel de riesgo aceptable, lo que se explica con mayor detalle en la sección 2.2.5.

⁸ USEPA. (1989). *Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I, Human Health Evaluation Manual (Part A)*. Washington D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.

2.2.3 Áreas mineralizadas

Se debe reconocer también que existen áreas mineralizadas naturalmente en Chile, donde las concentraciones naturales en el suelo pudiesen estar por sobre valores determinados como “seguros” (valores objetivo). Este es especialmente el caso del arsénico en el norte de Chile, cuyos niveles naturales pueden llegar hasta casi los 100 mg/kg de concentración en lugares cercanos a Calama. Es importante notar que esta situación no es exclusiva de Chile, por ejemplo, áreas en California también presentan elevados niveles de arsénico o en Andalucía con una variedad de metales presentes, entre otras.

En el caso de los niveles de minerales concentrados que naturalmente están presentes en los suelos y no por una acción antrópica, cabe preguntarse si han de ser considerados como casos de contaminación y si corresponde normar por sobre valores objetivo para acomodar estas áreas. Los diferentes países estudiados han optado en general por soluciones similares como se indica abajo:

- Canadá (Estado de British Columbia): indica en su normativa “Contaminated Sites Regulation”⁹ Sección 11 (1) que un sitio se definirá como “contaminado” si se superan los valores de referencia establecidos en su regulación, sin embargo, en su Sección 11 (3) indica que esta definición no aplicará si la concentración de la sustancia en suelo (u otras matrices) no supera los valores background locales. Más aún, como se verá más adelante, la fórmula para el cálculo de niveles de referencia para suelos utilizada por Canadá incorpora el valor background en su ecuación.
- Australia: La legislación federal australiana, dentro de la National Environment Protection (Assessment of Site Contamination) Measure 1999¹⁰ (NEPM, 2013), define contaminación como una condición del suelo o agua donde una sustancia se ha añadido por acción antropogénica directa o indirecta por sobre niveles background, y representa, o potencialmente representa un impacto a la salud o al medio ambiente. La NEPM 2013 también reconoce la presencia de áreas naturalmente mineralizadas, en donde se debiesen implementar programas de prevención y mitigación en términos de salud pública, y donde pudiese ser más efectivo el monitoreo en sangre o de concentraciones en calidad de aire.
- Estados Unidos: La Ley “Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act (CERCLA)”¹¹ también llamada Ley Superfund contiene una limitación a la remoción o remediación a sustancias que ocurriesen naturalmente en ubicaciones específicas. En este sentido, bajo la Ley Superfund los niveles de remediación no se definen bajo niveles naturales. Se reconoce que niveles naturales pueden representar riesgos, sin embargo, esto debe ser coordinado con otras agencias a cargo de temas de salud pública. (United States Environmental Protection Agency, 2018)¹²

2.2.4 Biodisponibilidad

En el ámbito de la contaminación de suelos o aguas, la biodisponibilidad se define como la fracción de un elemento que se encuentra disponible para los organismos vivos, y está definida por la relación que hay entre la concentración de ese elemento en el suelo y el nivel introducido en el organismo.

⁹ https://www.bclaws.gov.bc.ca/civix/document/id/complete/statreg/375_96_00

¹⁰ National Environmental Protection Council (NEPC). (2013). *National Environment Protection (Assessment of Site Contamination) Measure 1999*. https://www.legislation.gov.au/Details/F2013C00288/Html/Volume_19

¹¹ <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-comprehensive-environmental-response-compensation-and-liability-act>

¹² United States Environmental Protection Agency. (2018). *Frequently Asked Questions About the Development and Use of Background*.

La mayor parte de las regulaciones en materia de suelos contaminados, utilizan como referencia el contenido total de un determinado contaminante para determinar sus niveles de referencia que determinan si ese suelo se considera potencialmente contaminado o no.

Estas concentraciones totales, sin embargo, no informan sobre su movilidad o sobre la fracción que se encuentra disponible para las plantas y otros organismos del suelo. Por esta razón, en las evaluaciones de riesgos y proyectos de remediación se reconoce que esta metodología no es los mejores indicadores de la disponibilidad, por lo que es necesaria una estimación más precisa de la misma. De las legislaciones estudiadas, solo Alemania y España consideran expresamente la utilización del agua y otros agentes para determinar las fracciones disponibles para ciertos receptores.

Determinar la disponibilidad y/o toxicidad de los contaminantes que se encuentran en los suelos es complejo puesto que son muchos los factores que influyen. Tanto la asimilabilidad, como biodisponibilidad y la propia toxicidad dependen también de procesos biológicos, particulares de cada especie y muchas veces con variaciones debidas a la adaptación al medio.

La concentración que causa toxicidad para los organismos vivos (incluyendo las personas) se encuentra dentro de la fracción disponible del suelo, estrechamente relacionada tanto con la concentración en la disolución como con la capacidad del suelo para liberar cantidades procedentes de la fase sólida. La fracción disponible, que influye decisivamente en el crecimiento y vida de las plantas y otros organismos, está, por tanto, afectada por los diferentes componentes y características del suelo.

La biodisponibilidad no es una simple función del contenido total de un determinado contaminante en el suelo y está vinculada a los ciclos biológicos, a los geoquímicos y a los edáficos, e influenciada por las actividades antrópicas. Las diferentes formas en las que los contaminantes pueden existir en los suelos se asocian con componentes muy heterogéneos y con contenidos diversos, tales como la materia orgánica y la fracción de arcilla. Para comprender la biodisponibilidad y las vías de movilidad es necesario, por tanto, disponer de información precisa, tanto de la concentración total en el suelo como la de la disolución y su especiación, de las fases geoquímicas a la que se unen y del organismo receptor potencial.

Para determinar la biodisponibilidad se utilizan fundamentalmente bioensayos, tanto para plantas, como otros organismos. De hecho, en el RD 9/2005¹³ de España, que regula la gestión de los suelos contaminados, se establece para el caso de identificar suelos que requieran una valoración de riesgos para ecosistemas, la necesidad de realizar bioensayos para comprobar la toxicidad de un suelo para una serie de compuestos referenciados, tanto en el suelo como en el lixiviado en muestras no diluidas.

En este caso, para la protección de los ecosistemas, la declaración de un suelo como contaminado se basa exclusivamente en los ensayos de ecotoxicidad. Así, a diferencia de los criterios para la protección de la salud humana, estos criterios no dependen de los niveles genéricos de referencia (NGR's) o valores límite, sino de los datos de ecotoxicidad obtenidos en los bioensayos realizados con las muestras de suelo y lixiviado a diferentes concentraciones. Esto permite la clasificación de sitios problemáticos sin necesidad de disponer de una caracterización exhaustiva de los tipos y niveles de contaminantes presentes.

Por otro lado, siguiendo con España, el concepto de biodisponibilidad en personas se contempla, no tanto en documentos legislativos, pero sí en guías técnicas, fundamentalmente de realización de valoraciones de riesgos, como es el caso de la "Guía de evaluación de riesgos para salud humana en suelos potencialmente contaminados"¹⁴, publicada por la Junta de Andalucía (España), 2017.

¹³ <https://www.boe.es/eli/es/rd/2005/01/14/9/con>

¹⁴ http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/participa/opina_participa/planes/drsc_03.pdf

En esta guía se establece que, especialmente para metales y metaloides, que pueden estar presentes en el suelo bajo diversas formas químicas, es factible mejorar la cuantificación de la exposición y el análisis toxicológico, por los siguientes motivos:

- *No todo el contaminante presente en los suelos se encuentra en forma realmente accesible y disponible para el posible receptor, y depende de las distintas formas químicas en las que se encuentre (especiación), así como de las vías de contacto con el posible receptor.*
- *La toxicidad depende también de la especiación química en la que se encuentre el compuesto, y ésta dependerá de la mineralogía de partida a la que se asocia el contaminante y de las condiciones ambientales: pH, potencial redox, temperatura, materia orgánica (particulada y disuelta).*

Por lo tanto, resulta útil determinar la cantidad del metal disponible para cada una de las vías de exposición y receptores identificados, así como su especiación en aquellos casos en que la toxicidad difiere significativamente de unas especies a otras (como es el caso del cromo, mercurio, cobre, arsénico, etc.). No obstante lo anterior, en cuanto a la salud humana ninguna forma de medición de la biodisponibilidad se encuentra explícitamente avalada.

En la Guía de análisis de riesgos para la salud humana y los ecosistemas publicada por la Comunidad de Madrid (España) el año 2001¹⁵, se indica que el análisis de la toxicidad de un contaminante debe reflejar los mecanismos de acción y los efectos que puede causar sobre la salud humana y los ecosistemas, y debe contemplar los siguientes aspectos:

- Vías de exposición relevantes.
- Órganos a los que afectan.
- Biodisponibilidad y capacidad de bioacumulación.
- Potencial mutagénico, neurotóxico, teratogénico, de disrupción endocrina, etc.
- Efectos interactivos entre sustancias (sinergias y antagonismos).

Como es complejo disponer de información sobre cada uno de estos aspectos, en esta guía se especifica que se podrán utilizar por defecto hipótesis conservadoras que permitirán realizar un análisis preliminar con los siguientes preceptos:

- Se asume que los contaminantes están presentes en el 100% del área contaminada y se utiliza por defecto el dato de concentración máxima o percentil 90 (cuando exista un número suficiente de datos) para cada uno de los contaminantes.
- El 100% del área de estudio está contaminada.
- La biodisponibilidad de cada uno de los contaminantes es del 100%.
- Se utilizan los datos de menor peso vivo disponibles que corresponde a la mayor tasa de ingestión.
- La composición de la dieta se estima en un 100% de alimento contaminado.

¹⁵ https://www.comunidad.madrid/sites/default/files/doc/medio-ambiente/cma-mam-guia_analisis_riesgos_salud_humana_y_ecosistemas.pdf

En este sentido, en la Guía de Madrid si bien se reconoce el concepto de biodisponibilidad, se recomienda el uso de hipótesis conservadoras en la práctica.

Como ya se indicó anteriormente, los principales inconvenientes para el estudio de la disponibilidad se deben a que requieren de procedimientos analíticos que no están suficientemente depurados y que todavía están en proceso de validación e implantación, y que generan un importante incremento en el coste económico en los estudios de contaminación. Esto ha motivado que, bajo la asunción de hipótesis conservadoras, la mayoría de las legislaciones que establecen niveles objetivo, de referencia, o de intervención, se refieren al contenido total de un determinado elemento.

Por otro lado, se requiere precisar que existen varias acepciones del término biodisponibilidad que conviene diferenciar:

- Disponibilidad ambiental: fracción de un contaminante liberado al medio por procesos de desorción, potencialmente disponible para los organismos.
- Biodisponibilidad ambiental o bioaccesibilidad: fracción de un contaminante disponible ambientalmente que un organismo adquiere a través de procesos fisiológicos de solubilización.
- Biodisponibilidad: fracción del contaminante bioaccesible que finalmente es metabolizado por el receptor y puede interactuar con los tejidos y órganos. En muchos casos, puede coincidir con la bioaccesibilidad, cuando la solubilidad es el principal factor que determina la absorción efectiva del compuesto por el individuo.

Estas diferentes disponibilidades del contaminante presente en el subsuelo hacen todavía más complejo el estudio y determinación de su biodisponibilidad frente a un determinado receptor, con una serie de vías de exposición, y bajo unas condiciones ambientales, geoquímicas e incluso estacionales.

En cuanto a los métodos de medición de los anteriores conceptos, se indican los siguientes:

- La disponibilidad ambiental también denominada “labilidad” o “movilidad” es medida experimentalmente mediante el uso de agentes solubilizadores que imiten la desorción de los contaminantes en condiciones de campo ya sea por lluvia, drenaje ácido u otros. Un test conocido y usado usualmente es el Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP), que busca replicar condiciones ácidas generadas en vertederos por ácidos orgánicos.
- La bioaccesibilidad se mide mediante tests “in vitro”, que buscan replicar procesos fisiológicos de solubilización, como por ejemplo absorción por raíces en plantas o ingesta de contaminantes en personas. En cuanto esto último, lo que se busca es imitar el proceso de solubilización gastrointestinal mediado por ácido clorhídrico.
- La biodisponibilidad es medida por tests “in vivo”, vale decir midiendo las concentraciones efectivas en el organismo estudiado. En el caso de la biodisponibilidad humana, lo que se hace es utilizar animales con procesos gastrointestinales similares, a los que se les hace ingerir una determinada dosis de contaminante por vía oral, para luego medirla en la sangre.

No obstante las anteriores definiciones, en la práctica por simpleza y uso generalizado se utiliza el término de “biodisponibilidad” para los tests contemplados por las legislaciones en cuanto a la evaluación de suelos contaminados.

Uno de los test más utilizados para la medición de la biodisponibilidad in vitro, es el Physiologically Based Extraction Test (PBET) o “Test de Extracción Fisiológica”. Desarrollado por (Ruby, 1996) consiste a grandes

rasgos en una extracción secuencial simulando la fase estomacal y del intestino delgado utilizando ácido clorhídrico (y otros compuestos en menor medida como pepsina, citrato, etc.) a diferentes pH (4 y menos para el estómago y 7 para el intestino delgado). En el estudio el porcentaje biodisponible máximo fue de 50% tanto para arsénico como para plomo. Revisiones independientes realizadas de este test han validado su uso para estos metales (Bruce, Noller, Vitukawalu, & Ng, 2007)¹⁶.

Estudios realizados en Chile utilizando ácido clorhídrico (1M) han encontrado porcentajes de extracción máximos para arsénico de 46% (Ahumada, Escudero, Ascar, Mendoza, & Richter, 2004)¹⁷, mientras que para el estudio de polimetales en Arica se consideró una biodisponibilidad del arsénico de 55% (CITUC, 2014)¹⁸.

2.2.5 Metodología de cálculo de valores objetivo

Es importante notar que el desarrollo de valores objetivo es un proceso complejo y largo, que no solo requiere de datos científicos, sino que también de decisiones políticas y sociales para la elección de la metodología que más se ajuste a los objetivos de protección de la salud de un determinado país. Incluso en aquellas decisiones científicas, hay divergencia de opiniones entre las legislaciones, dándole más peso a algunos estudios por sobre otros por variadas razones, incluyendo localidad, familiaridad de la autoridad con el método, practicidad, etc. En efecto, la revisión de la norma australiana (NEPM) de 1999 se inició el 2005-2006, culminando el proceso de revisión el año 2013 con una nueva versión.

Es así que como punto de partida se han calculado valores objetivo únicamente para los metales y metaloides considerados dentro de los contaminantes prioritarios indicados anteriormente. Todos estos corresponden a contaminantes umbral, a excepción del arsénico. Uno de los puntos críticos a definir es el modo a tratar los contaminantes cancerígenos, definiendo un nivel de riesgo aceptable (10^{-4} a 10^{-6}) y también si aquellos no genotóxicos se trataran como contaminantes umbral o no umbral. Sin embargo, este no es el único, también existen vacíos de datos específicos como la ingesta background de contaminantes por otras fuentes no asociadas al suelo (ej. dieta, agua, etc.). Estos factores debiesen ser definidos por (o en conjunto con) el Ministerio de Salud y profesionales expertos en evaluaciones de riesgo ambientales.

Los valores objetivo para los contaminantes umbral fueron determinados usando las fórmulas definidas por la USEPA en sus documentos *Risk Assessment Guidance for Superfund: Volume III – Part A, Process for Conducting Probabilistic Risk Assessment* (USEPA, 2001)¹⁹ y *Risk Assessment Guidance for Superfund (Part F, Supplemental Guidance for Inhalation Risk Assessment)* (USEPA, 2009)²⁰. Se incluyó para la vía de inhalación la fórmula contemplada por la metodología de Australia (National Environmental Protection Council (NEPC), 2013), ya que se consideró más completa al incluir inhalación de polvo interior. La excepción de esto es el mercurio para el cual se utilizó el modelo *Risk Based Corrective Action Tool Kit for Chemical Releases* (llamado RBCA de aquí en adelante) con el fin de incluir volatilización de este elemento en aire

¹⁶ Bruce, S., Noller, B., Vitukawalu, M., & Ng, J. (2007). In Vitro Physiologically Based Extraction Test (PBET) and Bioaccessibility of Arsenic and Lead from Various Mine Waste Materials. *Journal of Toxicology and Environmental Health*.

¹⁷ Ahumada, I., Escudero, P., Ascar, L., Mendoza, J., & Richter, P. (2004). *Extractability of Arsenic, Copper, and Lead in Soils of a Mining and Agricultural Zone in Central Chile. COMMUNICATIONS IN SOIL SCIENCE AND PLANT ANALYSIS*, Vol. 35, Nos. 11 & 12, pp. 1615–1634.

¹⁸ CITUC. (2014). *Determinación del Nivel de Riesgo Aceptable de Protección de Salud Humana, para los Contaminantes de Interés en la Comuna de Arica por la Presencia de Polimetales en la Matriz Suelo*. Santiago: Facultad de Medicina de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

¹⁹ USEPA. (2001). *Risk Assessment Guidance for Superfund*. Washington : U.S. Environmental Protection Agency .

²⁰ USEPA. (2009). *Risk Assessment Guidance for Superfund (Part F, Supplemental Guidance for Inhalation Risk Assessment)*. Washington.

exterior por la complejidad de los procesos físicos involucrados. En cuanto a plomo, la metodología USEPA recomienda el uso del modelo *Integrated Exposure Uptake Biokinetic Model for Lead in Children* (IEUBK)²¹ de la misma entidad, sin embargo, este modelo requiere de datos que no están definidos aún para las condiciones chilenas tales como valores típicos de plomo en aire exterior, consumo de alimentos (dieta) y agua potable los que no han sido definidos para condiciones chilenas.

Para los contaminantes no umbral, los valores objetivos determinados corresponden al valor más conservador (mínimo) entre las metodologías evaluadas. La excepción a lo anterior fue el arsénico, el cual fue evaluado utilizando el modelo *Risk Based Corrective Action Tool Kit for Chemical Releases* (llamado RBCA de aquí en adelante) dada su importancia y prevalencia en los suelos especialmente en el norte de Chile.

Como ya se mencionó anteriormente, se definieron valores objetivo para dos escenarios específicos. Estos corresponden a los usos de suelo “residencial” e “industrial”. En cuanto a estos escenarios se consideraron las vías de exposición más importantes, las que corresponden a ingestión, contacto dérmico e inhalación. Se reconoce que algunas legislaciones (ej. Australia, Canadá) incluyen la ingesta de alimentos desde el mismo sitio contaminado como vía relevante, sin embargo, esta vía se desestimó ya que no existen datos para la sociedad chilena. No obstante, esto (y muchos otros factores) debiesen ser objeto de discusión por parte de un panel experto para evaluar objetivamente su aplicabilidad.

Se debe recalcar también que, desde el punto de vista científico, siempre será mejor realizar una evaluación sitio-específica Tier 2 (o Tier 3 de ser requerida) que aplicar los valores objetivos para la evaluación de riesgo de un sitio. No obstante, se reconoce su utilidad, practicidad y uso extendido dentro de la práctica de evaluación de suelos contaminados internacionalmente.

Formula general de valor objetivo considerando vías de exposición ingestión, dermal e inhalación

A continuación, se presenta la fórmula general para el cálculo del Valor Objetivo (VO) por la suma de la exposición a las 3 vías consideradas: ingestión, dermal e inhalación

$$VO(mg/kg) = \left(\frac{1}{VO_{ingestión}} + \frac{1}{VO_{dermal}} + \frac{1}{VO_{inhalación}} \right)^{-1}$$

Ecuación 1 – Formula general VO

Donde:

- VO_{ingestión}: Valor objetivo calculado para la ingestión de suelo contaminado
- VO_{dermal}: Valor objetivo calculado para el contacto dermal con suelo contaminado
- VO_{inhalación}: Valor objetivo calculado para la inhalación de suelo contaminado como polvo

Para poder entender correctamente el uso de la fórmula general será necesario desarrollar los valores objetivos por cada una de las vías de exposición

²¹ Disponible en: <https://www.epa.gov/superfund/lead-superfund-sites-software-and-users-manuals>

Valor objetivo ingestión

A continuación, se presenta la ecuación para el cálculo de los valores objetivo por ingestión del suelo.

$$VO_{\text{ingestión}}(\text{mg/kg}) = \frac{(THQ \times RfD_o \times BW \times AT_n \times 365 \text{ días/año})}{EF \times ED \times IR_s \times RBAF \times 10^{-6} \text{ kg/mg}}$$

Ecuación 2 – Formula para el cálculo del valor objetivo por ingestión

Los factores de exposición y significado de las siglas se encuentran en la Tabla 1 para escenarios residenciales y Tabla 2 para escenarios Industriales.

Tabla 1 – Factores de exposición por ingestión para escenario residencial con receptor sensible (niño de 5 años)

Factor		Valor	Unidad	Referencia
THQ	Cociente de peligro objetivo	1	-	-
RfDo	Dosis de referencia oral crónica	-	mg/kg/d	Base de datos de la EPA para cada uno de los metales analizados ²²
BW	Peso corporal niños de 5 años	18	Kg	Gráfico 5, peso esperado de un niño (valor próximo a la media) ²³
ATn	Tiempo promedio	ED*365	Años	-
EF	Frecuencia de exposición	365	días/años	Al ser un escenario residencial se consideran los 365 días del año
ED	Duración de la exposición	6	Años	Se suponen los primeros 6 años de vida de un niño.
IRs	Tasa de ingestión para niños de 0-5 años	100	mg/día	Exposure Factors Handbook ²⁴
RBAF	Factor de biodisponibilidad relativo	100	%	Al carecer de datos sobre la biodisponibilidad se consideró 100% como valor conservador

Tabla 2 – Factores de exposición por ingestión para escenario Industrial con receptor adulto

Factor		Valor	Unidad	Referencia
THQ	Cociente de peligro objetivo	1	-	-
RfDo	Dosis de referencia oral crónica	-	mg/kg/d	Base de datos de la EPA para cada uno de los metales analizados ²⁵

²² <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-generic-tables>

²³ <http://www.crececontigo.gob.cl/tema/desarrollo-del-nino-y-la-nina/>

²⁴ <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=236252> (Table ES-1. Summary of Exposure Factor Recommendations (General Population Central Tendency mg/day)

²⁵ <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-generic-tables>

BW	Peso corporal Adultos	72,3	Kg	Encuesta nacional de salud tabla 2.3.1. Descripción de mediciones antropométricas. Chile 2009 - 2010 ²⁶ .
ATn	Tiempo promedio	ED*365	Años	
EF	Frecuencia de exposición	240	días/años	Al ser un escenario industrial se consideran únicamente los días laborables
ED	Duración de la exposición	30	Años	Se supone como tiempo medio de un trabajador en una empresa
IRs	Tasa de ingestión para adultos	50	mg/día	Exposure Factors Handbook Table ES-1. Summary of Exposure Factor Recommendations (General Population Central Tendency mg/day)
RBAF=	Factor de biodisponibilidad relativo	100	%	Al carecer de datos sobre la biodisponibilidad se consideró 100% como valor conservador

Valor objetivo dermal

A continuación, se presenta la ecuación para el cálculo de los valores objetivo por contacto dermal con suelo contaminado.

$$VO_{dermal}(mg/kg) = \frac{(THQ \times RfD_d \times BW \times AT_n \times 365 \text{ días/año})}{EF \times ED \times SA \times M \times RAF_d \times 10^{-6} \text{ kg/mg}}$$

Ecuación 3 – Fórmula para el cálculo del valor objetivo por contacto dermal

Los factores de exposición y significado de las siglas se encuentran en la Tabla 3 para escenarios residenciales y Tabla 4 para escenarios Industriales.

Tabla 3 – Factores de exposición por contacto dermal para escenario residencial con receptor sensible (niño de 5 años)

	Factor	Valor	Unidad	Referencia
THQ	Cociente de peligro objetivo	1	-	-
RfDo	Dosis de referencia oral crónica	-	mg/kg/d	Base de datos de la EPA para cada uno de los metales analizados
BW	Peso corporal niños de 5 años	18	Kg	Gráfico 5, peso esperado de un Niño (valor próximo a la media) ²⁷
ATn	Tiempo promedio	ED*365	Años	Se suponen 6 años de exposición hasta la adultez
EF	Frecuencia de exposición	365	días/años	Al ser un escenario residencial se consideran los 365 días del año

²⁶ <https://www.minsal.cl/portal/url/item/bcb03d7bc28b64dfe040010165012d23.pdf>

²⁷ <http://www.crececontigo.gob.cl/tema/desarrollo-del-nino-y-la-nina/>

ED	Duración de la exposición	6	Años	Se suponen los primeros 6 años de vida de un niño.
M	Factor de adherencia suelo-piel	0,2	mg/cm ² /d	Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual ²⁸
RAFd	Factor de absorción dermal	-	-	Base de datos de la EPA para cada uno de los metales analizados
SA	Superficie de la piel por contacto dérmico con el suelo niño	3495	cm ²	Exposure Factors Handbook ²⁹

Tabla 4 – Factores de exposición por contacto dermal para escenario industrial con receptor adulto

Factor		Valor	Unidad	Referencia
THQ	Cociente de peligro objetivo	1		
RfDo	Dosis de referencia oral crónica	-	mg/kg/d	Base de datos de la EPA para cada uno de los metales analizados
BW	Peso corporal adulto	72,3	Kg	Encuesta nacional de salud tabla 2.3.1. Descripción de mediciones antropométricas. Chile 2009 -2010 ³⁰ .
ATn	Tiempo promedio	ED*365	Años	-.
EF	Frecuencia de exposición	240	días/años	Al ser un escenario industrial se consideran únicamente los días laborables
ED	Duración de la exposición	30	Años	Se supone como tiempo medio de un trabajador en una empresa
M	Factor de adherencia suelo-piel	0,2	mg/cm ² /d	Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual ³¹
RAFd	Factor de absorción dermal	-	-	Base de datos de la EPA para cada uno de los metales analizados
SA	Superficie de la piel por contacto dérmico con el suelo adulto	5570	cm ²	Exposure Factors Handbook ³²

²⁸ (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment) “3.2.2.3 Recommended Soil Adherence Factors”

²⁹ Table ES-1. Summary of Exposure Factor Recommendations, Surface Area of Body Parts (suma de cabeza, manos, media pierna, pies y brazos)

³⁰ <https://www.minsal.cl/portal/url/item/bcb03d7bc28b64dfe040010165012d23.pdf>

³¹ https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/part_e_final_revision_10-03-07.pdf ((Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment) “3.2.2.3 Recommended Soil Adherence Factors”)

³² Table ES-1. Summary of Exposure Factor Recommendations, Surface Area of Body Parts (suma de cabeza, manos y brazos)

Valor objetivo inhalación

A continuación, se presenta la ecuación para el cálculo de los valores objetivo por inhalación de suelo contaminado en forma de polvo.

$$VO_{Inhalación}(mg/kg) = \frac{THQ \times RfC \times AT_n}{\left[\frac{1}{PEF_0} \times ET_{00} \right] + \left[\frac{1}{PEF_i} \times TF \times ET_{ci} \right]} \times EF \times ED_c$$

Los factores de exposición y significado de las siglas se encuentran en la Tabla 5 para escenarios residenciales y Tabla 6 para escenarios Industriales.

Tabla 5 – Factores de exposición por inhalación para escenario residencial con receptor sensible (niño de 5 años)

Factor		Valor	Unidad	Referencia
THQ	Cociente de peligro objetivo	1		
RfC	Dosis de referencia	-	mg/m ³	Base de datos de la EPA para cada uno de los metales analizados
ATn	Tiempo promedio	ED*365	Años	-
PEF ₀	Factor de emisión de partículas	1,1 x10 ⁹	(m ³ /kg)	El facto de Emisión de partículas se calcula en base a la (Ecuación 4)
ET ₀₀	Tiempo de exposición aire exterior	4	Horas	Tiempo transcurrido en el exterior
PEF _i	Factor de polvo interior	2,6E+07	m ³ /kg	Por defecto
ET _{ci}	Tiempo de exposición interior	20	Horas	Tiempo transcurrido en el interior
TF	Fración de polvo interior compuesta de suelo exterior	50	%	Por defecto
ED	Duración de la exposición	6	Años	Se suponen los primeros 6 años de vida de un niño
EF	Frecuencia de exposición	365	Días/años	Al ser un escenario residencial se consideran los 365 días del año

Tabla 6 – Factores de exposición por inhalación para escenario industrial con receptor adulto

Factor		Valor	Unidad	Referencia
THQ	Cociente de peligro objetivo	1		
RfC	Dosis de referencia	-	mg/m ³	Base de datos de la EPA para cada uno de los metales analizados
ATn	Tiempo promedio	ED*365	Años	-

PEF ₀	Factor de emisión de partículas	1,1 x10 ⁹	(m ³ /kg)	El facto de Emisión de partículas se calcula en base a la (Ecuación 4)
ET ₀₀	Tiempo de exposición aire exterior	1	Horas	Tiempo de descanso de un trabajador
PEF _i	Factor de polvo interior	2,6E+07	m ³ /kg	Por defecto (Australia)
ET _{ci}	Tiempo de exposición interior	9	Horas	Horas de un horario laboral en Chile
TF	Fracción de polvo interior compuesta de suelo exterior	50	%	Por defecto
ED	Duración de la exposición	30	Años	Se supone como tiempo medio de un trabajador en una empresa
EF	Frecuencia de exposición	240	Días/años	Al ser un escenario industrial se consideran únicamente los días laborables

Particulate emission factor (Factor de emisión de partículas)

A continuación, se encuentran los valores para el cálculo del factor de emisión de partículas, y en la Tabla 7 los factores utilizados para calcularlo. Para el cálculo de Q/C se utilizaron factores de Albuquerque Estados Unidos, la cual es equivalente en cuanto a su clasificación de clima Koppen (Bwk) a la ciudad de Calama (tomada como un caso representativo de alta generación de polvo).

$$PEF \frac{(mg/m^3 \text{ aire})}{(mg/kg \text{ suelo})} = \frac{(1 - V) \left(\frac{U_m}{U_t}\right) F(x)}{Q/C} \times 10^{-5}$$

Ecuación 4 – Ecuación para el cálculo del factor de emisión de partículas

$$Q/C \frac{(g/m^2/s)}{(kg/m^3)} = A \times \exp\left(\frac{(\ln A_c - B)^2}{C}\right)$$

Ecuación 5 – Ecuación para el cálculo de factor de dispersión de aire

Tabla 7 – Factores para el cálculo del PEF y Q/C

Factor		Unidad	Valor	Referencias
A	Área del sitio (acres)	Acres	0,50	Mínimo asumido (EPA) ³³
A _c	Factor Cowherd A _c	-	14,9421	Valor para Albuquerque USA
B	Factor de Cowherd B	-	17,9869	Valor para Albuquerque USA

³³ <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-users-guide>

C	Factor de Cowherd B	-	205,1782	Valor para Albuquerque USA
V	Fracción de cobertura vegetal	%	0,18	Corporación Ciudades ³⁴
U _m	Velocidad promedio del viento	m/s	4,5	Velocidad media anual (2019) a 10 m 8,8 nudos ³⁵
U _t	Valor umbral equivalente	m/s	11,3	Valores tomados de la EPA ³⁶
x	Constante basada en Cowherd et al. (1985)	-	2,2	Valor tomado de la EPA
F _x	Función de la distribución de la velocidad del viento	-	0,144	Calculado en base a U _t y U _m

Cabe agregar, que previo a la definición de los valores objetivo, se realizaron entrevistas con profesionales expertos en el tema para discutir la lista preliminar de contaminantes a normar y aspectos relacionados con la metodología de cálculo de valores de referencia. Un resumen de los aspectos relevantes conversados en las entrevistas se presenta en la Tabla 8. Además, en el Anexo 1 se presentan las preguntas realizadas a los entrevistados acerca de aspectos de metodología de cálculo de valores de referencia.

Tabla 8 – Resumen de aspectos relevantes conversados en entrevistas

Profesional experto	Cargo e institución	Comentario
Inés Ahumada	Prof. Asociado(O) Departamento de Química Inorgánica y Analítica – Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas Universidad de Chile	Feedback por comunicación electrónica 16 de febrero 2021. <i>Adecuada inclusión de todos los contaminantes seleccionados.</i> <i>Respecto de los metales pesados como Cu, Cr, Zn, Pb entre otros, sobre todo de Cu podemos encontrar que nuestros suelos tienen muy alta concentración de Cu, más que lo que muestran suelos de otros países. Se ha encontrado que en suelos de nuestro país un alto contenido de Cu por sobre la norma internacional, pero al determinar la forma en que se encuentra este metal en el suelo a través de un procedimiento de fraccionamiento químico, este metal no está disponible, ya que se encuentra en formas estables, lo cual está relacionado al pH y contenido de materia orgánica y óxidos de Fe, Mn y Al.</i> <i>Por otra parte, no sé si se considerarán las distintas zonas de nuestro país; ya que tenemos un país geológicamente diverso. Estos aspectos son difíciles</i>

³⁴ <http://corporacionciudades.cl/wp-content/uploads/2019/04/ATLAS-CALAMA.pdf>

³⁵ <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/informacion/inventarioComponentesPorEstacion/220002/28/60>

³⁶ <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-users-guide>

Profesional experto	Cargo e institución	Comentario
		<i>de llevarlos a una norma general, pero se debe empezar por algo que proteja a nuestros suelos.</i>
Daniel Rebolledo	Coordinador de Proyectos de Investigación CITUC	Reunión virtual sostenida 18 febrero 2021. - Adecuada cobertura de contaminantes - Se sugiere inclusión de pentaclorofenol dada su experiencia profesional en aserraderos en el sur de Chile
Roxana Tessada	Profesional - Departamento Salud Ambiental/DIPOL Ministerio de Salud	Reunión virtual sostenida 18 febrero 2021. Se sugiere la revisión de referencias usadas actualmente por autoridad sanitaria para la determinación de contaminantes de interés, en específico estudios realizados en Chile y directrices de la OMS.
Orlando Negrón	Médico Toxicólogo del Departamento de Salud Ambiental Ministerio de Salud	Se indica que el nivel de riesgo aceptable para determinación de valores objetivo para contaminantes no umbral es un tema complejo que requiere de revisión por parte de la autoridad sanitaria.
Roberto Villablanca	Encargado Recursos Naturales, Región de Antofagasta Ministerio del Medio Ambiente	Reunión virtual sostenida 3 de marzo 2021. Se discute sobre método de tratamiento de sectores mineralizados, en particular con referencia a las altas concentraciones encontradas de arsénico en el norte de Chile.
Mirna Aguilar	Profesional Recursos Naturales, Región de Antofagasta Ministerio del Medio Ambiente	Se plantean problemáticas que surgen en cuanto al nivel de riesgo aceptable para contaminantes cancerígenos si este se deja en un valor de 10^{-6} .

2.3 Presentación de valores objetivo

A continuación, se presentan los valores objetivos. Tal y como se mencionó anteriormente, el cálculo de los valores se realizó únicamente para los metales. Los valores que se presentan para el resto de los grupos de contaminantes están basados en los valores de las normativas internacionales revisadas.

2.3.1 Valores objetivo para los metales

A continuación, en la Tabla 9, se presentan los valores objetivo calculados para Chile para los metales seleccionados como contaminantes de interés.

Tabla 9 – Valores objetivos para metales

Contaminante	Numero Cas	Residencial (mg/kg)	Industrial (mg/kg)
Antimonio	7440-36-0	49	354
Arsénico*	7440-38-2	1,6	4,2
Berilio	7440-41-7	32	130
Cadmio	7440-43-9	114	744
Cobre	7440-50-8	5803	48438
Plomo**	7439-92-1	65	90
Níquel	7440-02-0	1058	4924
Selenio	7782-49-2	789	7592
Zinc	7440-66-6	40015	312080
Cromo VI	18540-29-9	139	645
Mercurio	7439-97-6	13	18
Talio	7440-28-0	2	18

Fuente: Elaboración propia

Notas: * Valor calculado utilizando modelo RBCA; ** Valor tomado de normativa brasileña

El valor calculado mediante el uso del RBCA para arsénico fue de 1,6 mg/kg para escenario residencial y 4,2 mg/kg para escenario industrial. Se utilizaron los mismos parámetros que para los otros contaminantes, salvo que se incorporó una biodisponibilidad de 50% de acuerdo a los estudios revisados en la Sección 2.2.4. Estos niveles son considerablemente menores que muchos de los naturalmente encontrado en los suelos de Chile en particular en la zona norte.

Cabe notar que el nivel de riesgo adicional cancerígeno utilizado fue de 10^{-6} . De utilizarse un nivel de 10^{-5} , estos valores subirían en un orden de magnitud (16 mg/kg y 42 mg/kg para residencial e industrial respectivamente).

La planilla de cálculo de los valores de referencia de los contaminantes listados anteriormente se presenta en el Anexo 2. Además, en el Anexo 3, se encuentran las impresiones de pantalla del software RBCA Tool Kit, mediante el cual fueron obtenidos los valores de referencia para arsénico y mercurio.

2.3.2 Valores objetivo para otros grupos de contaminantes

Como mencionado anteriormente, se requiere evaluar una serie de factores y tomar decisiones con respecto a aspectos pertinentes a cada contaminante para la definición de valores objetivo finales (esto se discute en la Sección 2.3.4). Por lo tanto, se optó como punto de partida para los contaminantes de los grupos TPH, BTEXN, pesticidas clorados, organoclorados, fenoles y PAH, la definición de valores objetivo preliminares basados en una revisión de los valores de la norma para su uso residencial e industrial de las distintas normas revisadas. En la Tabla 10 se encuentran los valores mínimos y máximos para cada uno de los escenarios, y la norma a la que pertenecen. Así se puede ver, que la norma de Canadá es menos restrictiva en general, y que la norma italiana, junto con la del País Vasco, son más restrictivas en general. La tabla con los valores de todas las normas para los contaminantes seleccionados se encuentra en el Anexo 4.

Tras el análisis realizado, y de manera conservadora, se recomienda el uso de los valores mínimos de las normas como posible valor objetivo preliminar para una futura norma primaria de suelos.

Tabla 10 – Valores objetivo para otros grupos de contaminantes

Contaminante	Residencial				Industrial			
	Máximo (mg/kg)		Mínimo (mg/kg)		Máximo (mg/kg)		Mínimo (mg/kg)	
TPH								
F1 C ₆ -C ₁₀	200	Canadá	<u>30</u>	Canadá	215	Australia	<u>180</u>	Australia/Canadá
F2 >C ₁₀ -C ₁₆	1000	Canadá	<u>120</u>	Australia	2000	Canadá	<u>170</u>	Australia
F3 >C ₁₆ -C ₃₄	13000	Canadá	<u>300</u>	Australia	30000	Canadá	<u>1700</u>	Australia
F4 >C ₃₄ -C ₄₀	25000	Canadá	<u>2800</u>	Australia	30000	Canadá	<u>3300</u>	Australia
Cianuro	50	Alemania	<u>1</u>	Italia	150	EEUU	<u>25</u>	País Vasco
PCB	5	Canadá	<u>0,03</u>	Brasil	40	Alemania	<u>0,12</u>	Brasil
BTEXN								
Benceno	1000	Canadá	<u>0,08</u>	Brasil	4000	Canadá	<u>0,15</u>	Brasil
Etilbenceno	3500	Canadá	<u>0,5</u>	Italia	10000	Canadá	<u>25</u>	EEUU
Naftaleno	60	Brasil	<u>2</u>	EEUU	90	Brasil	<u>8,6</u>	EEUU
Tolueno	40000	Canadá	<u>0,5</u>	Italia	100000	Canadá	<u>32</u>	PB
Xilenos	65000	Canadá	<u>0,5</u>	Italia	200000	Canadá	<u>17</u>	PB
PESTICIDAS CLORADOS								
Clordano	50	Australia	<u>0,01</u>	País vasco/Italia	530	Australia	<u>0,1</u>	Italia
DDT, DDE, DDD (*2)	240	Australia	<u>0,01</u>	Italia	3600	Australia	<u>0,1</u>	Italia
Dieldrin	0,6	Brasil	<u>0,01</u>	País vasco	1,3	Brasil	<u>0,14</u>	EEUU
Pentaclorofenol	100	Canadá	<u>0,01</u>	País vasco/ Italia	660	Australia	<u>1</u>	País Vasco
Endrina	19	EEUU	<u>0,01</u>	País vasco/ Italia	250	EEUU	<u>1</u>	País Vasco
Epóxido de heptacloro	4	PB	<u>0,01</u>	País vasco	4	PB	<u>0,33</u>	EEUU
Hexaclorobenceno	10	Australia	<u>0,01</u>	País vasco	200	Alemania	<u>0,96</u>	EEUU
Lindano	10	Alemania	<u>0,01</u>	Italia	400	Alemania	<u>0,5</u>	Italia
ORGANOCLORADOS								
Tetracloruro de carbono	0,7	PB/Brasil	<u>0,05</u>	País Vasco	2,9	EEUU	<u>0,7</u>	PB
1,2-dicloroetano	6,4	PB	<u>0,05</u>	País Vasco	6,4	PB	<u>0,5</u>	Brasil
Cloroformo	5,6	PB	<u>0,1</u>	Italia	8,5	Brasil	<u>1,4</u>	EEUU
Cloruro de metileno	57	EEUU	<u>0,1</u>	Italia	1000	EEUU	<u>3,9</u>	PB

Contaminante	Residencial				Industrial			
	Máximo (mg/kg)		Mínimo (mg/kg)		Máximo (mg/kg)		Mínimo (mg/kg)	
Tetracloroetileno	1000	Canadá	<u>0,1</u>	País Vasco	3500	Canadá	<u>8,8</u>	PB
Tricloroetileno	200	Canadá	<u>0,7</u>	País Vasco	600	Canadá	<u>2,5</u>	PB
Cloruro de vinilo	0,1	Real Decreto	<u>0,003</u>	Brasil	1,7	EEUU	<u>0,008</u>	Brasil
FENOLES								
Fenol	19000	EEUU	<u>1</u>	Italia	250000	EEUU	<u>14</u>	PB
PAH								
Benz [a] antraceno	20	Brasil	<u>0,2</u>	País Vasco	65	Brasil	<u>10</u>	Italia
Benzo [a] pireno	5	Canadá	<u>0,1</u>	Italia	15	Canadá	<u>0,7</u>	Australia
Benzo [b] fluoranteno	2	Real Decreto	<u>0,2</u>	País Vasco	21	EEUU	<u>10</u>	Italia
Benzo [k] fluoranteno	20	Real Decreto	<u>0,5</u>	Italia	210	EEUU	<u>10</u>	Italia
Dibenzo [a,h] antraceno	2	Brasil	<u>0,03</u>	País vasco	10	Italia	<u>1,3</u>	Brasil
Indeno [1,2,3-cd] pireno	25	Brasil	<u>0,1</u>	Italia	130	Brasil	<u>5</u>	Italia
Criseno	110	EEUU	<u>5</u>	Italia	2100	EEUU	<u>50</u>	Italia

Fuente: elaboración propia

PB: Países Bajos

2.3.3 Comparación de los valores propuestos

En Chile se han realizado varios trabajos en los que se han propuesto valores de referencia o se han calculado valores específicos para distintas zonas donde se identificaron suelos contaminados.

El objetivo de este capítulo es comparar los valores propuestos en el presente informe con los valores en algunos trabajos realizados en Chile en los que han propuesto valores de referencia o se han calculado concentraciones de contaminantes basados en riesgo:

Preparación de antecedentes para la elaboración de la “norma de calidad primaria de suelos” MMA, Ingeniería Alemana (Julio 2011) (1588-79-LE10)

Este informe realiza un análisis de la normativa existente en Chile y propone la manera de insertar la norma primaria de suelo en la legislación chilena. Además, realiza una propuesta de los contaminantes de interés y valores de referencia a usar.

En la Figura 3 se puede observar los propuestos por Ingeniería Alemana. En este caso, se propusieron valores de intervención y valores de alerta (el 50% de los valores de intervención). En este caso, tras el análisis de varios factores, ingeniería alemana propone utilizar los valores de límites regionales de screening (Regional Screening Levels – RSL) que se usan en el programa de sitios contaminados “Superfund” de EE.UU. (USEPA).

Parámetro	Unidad	Valores de Alerta (50% de los Valores de Intervención) ¹⁾		Valores de Intervención ²⁾	
		I.	II.	I.	II.
Arsénico	mg/kg MS	0,195	0,8	0,39	1,6
Cadmio	mg/kg MS	18,5	225	70	800
Cobre	mg/kg MS	1.550	20.500	3.100	41.000
Cromo	mg/kg MS	105	225	210 ³⁾	450 ³⁾
Mercurio	mg/kg MS	11,5	155	10	43
Molibdeno	mg/kg MS	195	2.550	390	5.100
Niquel	mg/kg MS	800	10.000	1.500	20.000
Plomo	mg/kg MS	200	400	400	800
Selenio	mg/kg MS	195	2.550	390	5.100
Zinc	mg/kg MS	11.500	50.000	23.000	310.000
Benceno	mg/kg MS	0,305	0,7	1,1	5,4
Tolueno	mg/kg MS	260	260	5.000	45.000
Etilbenceno	mg/kg MS	200	200	5,4	27
Xileno	mg/kg MS	135	210	630	2.700
Aldrin	mg/kg MS	0,0145	0,05	0,029	0,1
PCB	mg/kg MS	1,95	10,5	0,22	0,74
PCP	mg/kg MS	0,195	0,85	0,89	2,7

Nota:

1) En el caso de suelos con niveles naturales elevados de los parámetros contaminantes, la autoridad puede establecer valores de alerta mayores a los señalados (hasta un 200% de los niveles basales).

2) Para riesgos de exposición directa (“direct exposure pathway”) de usos residenciales (I) e industriales (II), según Region 9 Soil Screening Levels, USEPA (2011); Fuente: http://www.epa.gov/reg3hwmd/risk/human/rb-concentration-table/Generic_Tables/index.htm

3) Preliminary Remediation Goals, USEPA (2004)

Figura 3 – Valores de referencia propuestos por Ingeniería Alemana

Determinación del nivel de riesgo aceptable de protección de salud humana, para los contaminantes de interés en la comuna de Arica por la presencia de polimetales en la matriz suelo. (CITUC, 2014)³⁷

Este informe tiene como objetivo proveer al MMA de antecedentes que permitan determinar el nivel de riesgo aceptable para la población de Arica debido a la exposición a contaminantes en el suelo.

Principalmente, cabe destacar que este trabajo se ha realizado estableciendo un nivel de riesgo aceptable de 10^{-5} para contaminantes cancerígenos y genotóxicos en suelos, además, aclara que este valor de riesgo permitiría mantener una coherencia y proporcionalidad en la definición de niveles guía o de referencia en las políticas adoptadas para contaminantes en agua potable. Por otro lado, el texto especifica que la recomendación de riesgo realizada en este trabajo no puede asignarse linealmente a otros escenarios de exposición diferentes a los registrados en Arica.

Por otro lado, para la determinación de los valores inhalados, se tomaron mediadas de polvo, por lo que no considera el valor del polvo “levantado” desde el suelo, si no valores reales. Esta metodología, es distinta a la planteada para el cálculo de los valores de referencia de este informe, que valora el riesgo por inhalación de polvo “levantado” desde el suelo contaminado.

Para los valores de ingestión, cabe destacar que se consideraron valores de biodisponibilidad para los metales estudiados. En el presente estudio únicamente se consideró el valor de biodisponibilidad del arsénico.

Por otro lado, para el valor de riesgo de arsénico se le sumo el valor de background, por lo que el valor obtenido es válido únicamente en el lugar de estudio. El sumar el valor de background al valor de referencia, implica que únicamente se considera riesgo aquellos valores que sobre los niveles naturales del terreno generen un riesgo, y por tanto no se considera el riesgo que se genera por las concentraciones naturales.

“Diagnóstico y evaluación de potenciales riesgos en las comunas de Chañaral y Diego de Almagro”- MMA, CENMA (diciembre 2016) y Determinación del nivel de riesgo aceptable de protección de salud humana, para los contaminantes de interés en la comuna de Arica por la presencia de polimetales en la matriz suelo. (CITUC diciembre 2014)

En ambos casos, se utilizaron los Valores Guía para Evaluación de Medios Ambientales (EMEG) incluyendo en el cálculo las dosis de referencia para efecto intermedio (exposición entre 15 y 364 días). Esta metodología es similar a la utilizada por USEPA, pero únicamente considera la ingestión

$$EMEG\left(\frac{mg}{kg}\right) = \frac{\left(MRL \text{ ó } RfD\left(\frac{mg}{kg \cdot día}\right)\right) * PC(kg)}{TI\left(\frac{kg}{día}\right)}$$

Donde:

- MRL es la concentración de mínimo riesgo según ASTDR (mg/kg/día).

³⁷ <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/10/Estudio-Riesgo-Arica.pdf>

- RfD es la dosis de referencia según la USEPA (mg/kg/día). Se utilizó el valor para exposición intermedia, entre 14 y 364 días.
- PC es el peso corporal (kg); para infantes se considera 10 kg, para niños 14 kg y para adultos 70 kg.
- TI es la tasa de ingesta (kg/día); para la ingesta accidental de suelo en infantes y niños es de 350 mg/día y para adultos es 50 mg/día

Por tanto, esta metodología no considera otras vías de exposición que podrían ser relevantes dependiendo del contaminante que se esté analizando.

2.3.4 Factores y aspectos a evaluar para definición final de valores objetivo

Algunos de los factores y aspectos que se deben evaluar para la definición final de valores objetivo se discuten a continuación.

Inclusión de exposición background (dieta, agua potable, aire) para cálculo de valores objetivo

Las ecuaciones utilizadas para el cálculo de valores objetivo utilizadas por Canadá y Australia, si bien basadas en aquellas de la USEPA, consideran que una proporción de la dosis tolerable (o del riesgo en el caso de los contaminantes cancerígenos) ya está siendo “utilizada” por los contaminantes presentes continuamente en otras fuentes de consumo masivo tales como alimentos y agua potable, o inhaladas del aire exterior. Vale decir que las normas de estos países no asumen que el riesgo está asociado solo a los contaminantes presentes en un suelo en particular, si no que corresponde a la suma de este más otros factores externos, como por ejemplo, la cantidad de arsénico o mercurio presente comúnmente en productos del mar, cobre en el agua potable o plomo en el aire exterior. Cabe notar que estos países realizan estudios periódicos de las concentraciones de elementos y compuestos en estos medios para definir esta exposición base. Esto no se utilizó en el cálculo de los valores objetivos al no estar esta información disponible en Chile.

Definición de valor de riesgo añadido para contaminantes cancerígenos

Cabe notar que en Chile no se ha definido el nivel de riesgo aceptable, y que por defecto la autoridad sanitaria (en conversaciones con el equipo consultor) ha recomendado un factor de 10^{-6} . Esto, no obstante que las normas para calidad para agua potable en Chile están basadas en las normas de la OMS que a su vez incorporan un nivel de riesgo aceptable de 10^{-5} . Más aún, el estudio de polimetales (CITUC, 2014), que derivó en nuevas zonas de riesgo cubiertas por la Ley de Polimetales para Arica, utilizó también un nivel de riesgo aceptable de 10^{-5} . Como mencionado anteriormente (Capítulo 2), muchos de los países revisados utilizan un factor de riesgo de 10^{-5} (ej. Australia, España, Alemania) e incluso 10^{-4} (Países Bajos). Este tema es de vital importancia y debiese ser definido por la autoridad sanitaria ya que afecta en un orden de magnitud al cálculo de valores de referencia pudiendo llevar estos a niveles inalcanzables como en el caso del arsénico.

Consistencia entre valores objetivo para suelo y otros medios

Se debe evaluar que los valores objetivo y normas existentes para otros medios “conversen” entre sí, asegurando la consistencia entre los valores definidos para suelo y las concentraciones máximas permisibles en alimentos, aire y agua potable. De tal manera que el llegar a los máximos valores permisibles no generen un riesgo per se o indiquen valores inalcanzables para suelos.

Un ejemplo que puede ilustrar lo anterior (donde falta consistencia), es el valor permisible para plomo de 50 $\mu\text{g/L}$ de acuerdo a la norma NCh409 para agua potable que es 5 veces mayor que el dictado por la OMS de 10 $\mu\text{g/L}$. Este valor (50 $\mu\text{g/L}$) insertado en el software IEUBK como valor típico representativo del agua potable (en conjunto con un valor de 0,5 $\mu\text{g/m}^3$ en plomo en el aire según máximo permisible por Decreto 136) indica un valor objetivo en suelos de solo 30 mg/kg para este elemento para asegurar que la concentración de plomo en la sangre no se eleve por sobre los 10 $\mu\text{g/dl}$ en niños. Es más, lo anterior asume

una ingesta de plomo por alimentos inexistente, lo que no correspondería a la realidad ya que si se utilizan valores por defecto de Estados Unidos el programa no es capaz de calcular valores objetivos indicando un error (“concentraciones en los medios background muy altas”).

Inclusión de valores background de suelo para cálculo de valores objetivo

La metodología para cálculo de niveles objetivo utilizada por Canadá (tanto a nivel federal como en la Provincia de British Columbia) incorpora en sus ecuaciones las concentraciones background de suelos sumando estas al valor calculado para riesgo, vale decir:

$$\text{Valor objetivo: Valor calculado por riesgo} + \text{background geológico}$$

De esta manera, se intenta evitar mayormente el problema de las zonas mineralizadas. Esta metodología no se estima conveniente ya que mezcla temas de riesgos a la salud con condiciones naturales, sin embargo, se debe evaluar en mayor profundidad como una solución o no para el contexto chileno.

Tratamiento de contaminantes mutagénicos

La metodología de la USEPA indica un tratamiento especial para contaminantes mutagénicos (tales como TCE, cloruro de vinilo, benzo(a)pireno entre otros) ya que estos tendrían un mayor efecto alterador del DNA en edades tempranas versus más tarde en la vida de un receptor. En este sentido se evalúan exposiciones con efectos mutagénicos en diferentes periodos de vida (ej. en el caso del TCE de 0-2 años, 2-6 años, 6-16 años, 16-26 años) y luego estos se sumarían a los efectos cancerígenos no mutagénicos. La fórmula genérica para la evaluación de los mutagénicos de la USEPA por ingestión³⁸ se indica en la Figura 4 abajo, sin embargo, este es un tema complejo para el cual existen diferentes metodologías por cada contaminante identificado como mutagénico.

³⁸ <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-equations>

o **Mutagenic**
▪ **Ingestion**

$$SL_{\text{res-soil-mu-ing}} (\text{mg/kg}) = \frac{TR \times AT_{\text{res}} \left(\frac{365 \text{ days}}{\text{year}} \times LT (70 \text{ years}) \right)}{CSF_o \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg-day}} \right)^{-1} \times RBA \times IFSM_{\text{res-adj}} \left(\frac{166,833 \text{ mg}}{\text{kg}} \right) \times \left(\frac{10^{-6} \text{ kg}}{\text{mg}} \right)}$$

where:

$$IFSM_{\text{res-adj}} \left(\frac{166,833 \text{ mg}}{\text{kg}} \right) = \left(\frac{EF_{0-2} \left(\frac{350 \text{ days}}{\text{year}} \right) \times ED_{0-2} (2 \text{ years}) \times IRS_{0-2} \left(\frac{200 \text{ mg}}{\text{day}} \right) \times 10}{BW_{0-2} (15 \text{ kg})} + \frac{EF_{2-6} \left(\frac{350 \text{ days}}{\text{year}} \right) \times ED_{2-6} (4 \text{ years}) \times IRS_{2-6} \left(\frac{200 \text{ mg}}{\text{day}} \right) \times 3}{BW_{2-6} (15 \text{ kg})} + \frac{EF_{6-16} \left(\frac{350 \text{ days}}{\text{year}} \right) \times ED_{6-16} (10 \text{ years}) \times IRS_{6-16} \left(\frac{100 \text{ mg}}{\text{day}} \right) \times 3}{BW_{6-16} (80 \text{ kg})} + \frac{EF_{16-26} \left(\frac{350 \text{ days}}{\text{year}} \right) \times ED_{16-26} (10 \text{ years}) \times IRS_{16-26} \left(\frac{100 \text{ mg}}{\text{day}} \right) \times 1}{BW_{16-26} (80 \text{ kg})} \right)$$

Figura 4 – Ecuación genérica de la USEPA para evaluación de contaminantes mutagénicos

Otros factores técnicos a definir

Existe una multitud de otros aspectos técnicos que debiesen evaluarse, entre estos se encuentran:

- Tratamiento de contaminantes volátiles: Se deben definir métodos de tratamiento de contaminantes volátiles en cuanto a si para estos se consideraran vías de inhalación interior o solo exterior, si se incluye interior que tipo de construcción se asumirá (con subterráneo o sin subterráneo), si estos se evaluarán derivando concentraciones objetivo para gas en el suelo (mg/m^3) o se asumirá un modelo de volatilización, qué textura de suelo se asumirá, a qué profundidad se encontrarían los volátiles, entre otros factores.
- Vías de exposición: Se debe evaluar también por cada contaminante también si se deben considerar vías dermal e inhalación para algunos contaminantes o solo asumir ingestión.
- Toxicidad: Si un contaminante es o no cancerígeno (ej. arsénico en suelos no lo es dentro de la metodología australiana), que valores de toxicidad utilizar ya que existe variabilidad entre los valores utilizados por los países.
- Tiempos de exposición: Se han definido para este estudio en general aquellos indicados por la USEPA pero se reconoce ciertas diferencias con otros países. Por ejemplo, USEPA indica 350 días de exposición para escenario residencial (con 15 días fuera de casa) mientras que Australia indica 365 días (este último fue elegido para este estudio de manera conservadora, pero esto se debiese reevaluar).

La lista anterior no es completa pudiendo haber otros factores que deben ser evaluados dentro del proceso de definición final de valores objetivo. Muchos de estos factores deben de ser definidos por el Ministerio

de Salud (en particular lo pertinente a niveles de toxicidad de un contaminante), sin embargo, se piensa que un esfuerzo en conjunto con el Ministerio de Medio Ambiente y expertos especialistas del ámbito público y privado sería el modo óptimo para avanzar en esta materia.

2.4 Conclusiones

Se realizó un análisis FODA para determinar vacíos, brechas y oportunidades de normar los contaminantes prioritarios identificados en el Capítulo 3. Este análisis identificó como uno de los vacíos la ausencia de valores de referencia y como una brecha o dificultad la manera en que se definen las normas ambientales de calidad en Chile.

Posteriormente se definieron los probables valores objetivo para los contaminantes prioritarios identificados como parte del Capítulo 3 del estudio, los que incluyen hidrocarburos totales por fracciones (TPH), metales y metaloides, benceno, etilbenceno, naftaleno, tolueno y xilenos (BTXN), pesticidas clorados, compuestos organoclorados (en particular relacionados al tricloroetileno y cloruro de vinilo), hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs), y otros (fenoles, cianuro y PCBs).

Los valores objetivo preliminares fueron definidos calculando estos utilizando fórmulas de la USEPA para los metales y metaloides, y definiendo el valor objetivo como aquel más conservador de entre los países revisados para los contaminantes orgánicos. La razón de esta diferencia en la metodología corresponde principalmente a que el proceso de definición de valores objetivo es algo muy complejo que requiere de la evaluación y toma de decisiones con respecto a una multitud de aspectos tanto técnicos como políticos en particular para los contaminantes orgánicos. Dadas estas condiciones, se consideró esta metodología para la derivación de valores objetivo preliminares apropiada como punto de partida, considerando la virtual ausencia de normativa en la materia.

Se reconoce Chile como el único país de la OECD carente de normativa en este respecto, incluso quedando atrás de sus pares latinoamericanos (ej. Perú, Argentina, Brasil) que sí poseen algún tipo de normativa al respecto. Es de vital importancia que se avance en dos temas fundamentales que corresponden a la definición del marco normativo y forma de insertar una futura norma de suelos, y la discusión de materias técnicas para la definición de valores objetivo ajustados a la realidad nacional.

Con respecto a este último tema se estima que hay factores que dependen en particular de la autoridad sanitaria, sin embargo, es evidente que el proceso se beneficiaría de un esfuerzo conjunto interministerial (con el Ministerio del Medio Ambiente), además de expertos de áreas ambientales y ciencias básicas.

3 Actividad 3.5 Difusión de los resultados del estudio

Esta actividad consiste en difundir los resultados del estudio, mediante el presente informe final, un tríptico de difusión, que se presenta en el Anexo 5 (versión color) y Anexo 6 (versión para imprimir), y la presentación a la contraparte técnica en una reunión el día 25 de marzo de 2021. La presentación en formato PDF se incluye en el Anexo 7.