

UCH-FC
Q. Ambiental
R 114
C. I



FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

**“ELEMENTOS BASE PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL DE SITIOS
CONTAMINADOS CON PLOMO Y CADMIO EN CHILE”**

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial
de los requisitos para optar al Título de los requisitos para optar al Título de:

Químico Ambiental

Claudia Priscilla Ravest Parada



Directora de Seminario de Título: Ing. Alejandra Salas Muñoz
Profesor Patrocinante: M. Cs. Sylvia Copaja Castillo

Octubre de 2010
Santiago – Chile



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TITULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por el o (la) candidato (a):

CLAUDIA PRISCILLA RAVEST PARADA

**“ELEMENTOS BASE PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL DE SITIOS
CONTAMINADOS CON PLOMO (PB) Y CADMIO (CD) EN CHILE”**

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Químico Ambiental

COMISIÓN DE EVALUACIÓN

Ing. Alejandra Salas Muñoz
Director Seminario de Título

M. Cs. Sylvia Copaja Castillo
Profesor Patrocinante

Dr. Hernán Ríos
Corrector

Dr. Víctor Manríquez
Corrector

Santiago de Chile, Octubre de 2010

PP 

Copaja

Hernán Ríos

Manríquez



RESEÑA



Nací el 3 de Mayo de 1982, en la ciudad de Santiago. Crecí en una familia con padres Profesores Normalistas y hermanos profesionales. Mi educación básica la estude en el colegio D-200 Villa Macul; para luego cursar mi educación media en el Colegio Divina Pastora, La Florida.

Luego de un proceso de maduración y decisión sobre mi futuro profesional, ingresé a la Universidad de Chile a la carrera de Química Ambiental. Durante mi estadía en la Universidad realice mi unidad de investigación dirigido por *M.Cs. Sylvia Copaja Castillo*, en “Estudio de competencia en el proceso de adsorción y persistencia de dos funguicidas en suelo Talcahue y O’Higgins”; siendo presentado en “Estudio de Competencia en el Proceso de Adsorción de dos Funguicidas en Suelos Chilenos”, en el II Congreso Argentino de Química Analítica, Agosto 2007, Buenos Aires, Argentina. También realicé otros tipos de actividades como clases particulares, y como examinadora en el proceso de rendición de PSU realizado por la Universidad.

La carrera de Química Ambiental cumplió con todas mis expectativas con respecto a mi interés sobre las ciencias ambientales y a su vez me mostró que estas pueden unirse con el ámbito medio ambiental, tema que cada vez ha tomado una mayor preocupación y conciencia, sobre todo pensando en una mejor calidad de vida en base a un desarrollo sustentable.



A Carlos y Priscila;
que me enseñaron y apoyaron a
construir lo que soy hoy
y lo que seré....



AGRADECIMIENTOS

El pilar fundamental en mi vida; mis padres, les agradezco por haberme apoyado siempre en mis pasos, por haberme entregado con trabajo, esfuerzo, paciencia y dedicación las herramientas necesarias para haber llegado a esta etapa.

A mi familia, mis hermanos Carlos, Priscia y Andrea, mis cuñados Paula, Álvaro y Mauro y mis sobrinos Nacho, Ángel, Diego y Cristóbal por entregarme su cariño, amor, paciencia y apoyo cuando los necesité. Además a Malú por llegar a iluminar mi vida con su amor y ternura, cuando más lo necesitaba.

A Alejandra Salas Muñoz y CONAMA, por su confianza, eterna paciencia y oportunidad de realizar este trabajo; muchas gracias.

A la profesora Sylvia Copaja Castillo, por haberme apoyado, entregado su paciencia, conocimientos y disposición en distintas etapas de la carrera, como fue en la realización de mi unidad de investigación y en la realización de este trabajo.

No se pueden dejar de mencionar, los amigos, aunque algunos están de pasada, muchos dejaron cosas buenas y los demás me enseñaron a crecer. En esta etapa aprendí a reconocer la lealtad y la verdadera amistad. A Glenda, María José, Marjorie, Rosita y Pablo, muchas gracias por estar en las buenas y en las malas, los quiero mucho. Y por supuesto a ti también, Alejandro por subirme el ánimo y darme la calma que necesitaba en este último tiempo.

A Dios por haberme entregado la fe para luchar y continuar.

INDICE DE CONTENIDOS



I.	INTRODUCCION.....	1
1.1	Objetivos.....	4
1.2	Fuentes de Información.....	5
II.	QUÍMICA DE LOS METALES PLOMO Y CADMIO.....	6
2.1	Plomo.....	6
2.2	Cadmio.....	10
2.3	Análisis Químico.....	15
III.	EFFECTOS DEL PLOMO Y CADMIO EN LA SALUD HUMANA... .	21
3.1	Casos emblemáticos de exposición al plomo.....	24
IV.	FUENTES DE PLOMO Y CADMIO EN CHILE.....	29
4.1	Fuentes naturales de plomo y cadmio.....	29
4.2	Fuentes antropogénicas de plomo y cadmio.....	30
4.3	Presencia de plomo y cadmio en Chile.....	34
4.4	Principales procesos industriales que emiten ambos metales.....	39
V.	ESTUDIOS DE PLOMO Y CADMIO EN DISTINTOS SISTEMAS AMBIENTALES.....	42
5.1	Estudios en suelos.....	42
5.2	Estudios en aguas, sedimentos y ciertos alimentos.....	46
5.3	Estudios en ambiente atmosférico.....	53



VI. CONSIDERACIONES PARA EL MANEJO AMBIENTAL DEL PLOMO Y CADMIO EN CHILE.	62
6.1 Control de emisiones.	62
6.2 Medidas de prevención y control.	63
VII. NORMATIVA APLICABLE.	67
7.1 Acuerdos e instrumentos internacionales.	68
7.2 Normativa aplicada en Chile.	70
VIII. DISCUSIÓN.	76
IX. CONCLUSIONES.	79
X. SUGERENCIAS.	82
XI. REFERENCIAS.	84
ANEXOS.	88



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Metodología de extracción química secuencial propuesta por Tessier.	15
Tabla 2. Frecuencia de niños con niveles de plomo en sangre sobre 10 y 20 $\mu\text{g}/\text{dl}$ según sector Antofagasta, Chile 1998.	28
Tabla 3. Estimación de la emisión antropogénica mundial de plomo hacia la atmósfera.	30
Tabla 4. Consumo mundial de cadmio en distintos usos, en los años 1980, 1995, 2005.	33
Tabla 5. Listado de empresas que funden plomo y aleaciones, región Metropolitana.	38
Tabla 6. Plomo emitido; Fundición Ventanas.	40
Tabla 7. Plomo emitido; Fundición Paipote.	40
Tabla 8. Contenidos de plomo y cadmio (mg/kg ss), en el estrata superficial de suelos del país.	43
Tabla 9. Especiación química de cadmio en suelos Encina y Loma Blanca.	44
Tabla 10. Fraccionamiento químico de cadmio en suelos Alofanicos.	45
Tabla 11. Resumen de especies presentes en Aguas de la Zona Central de Chile.	47
Tabla 12. Rango de concentración de metales en sedimentos secos.	50
Tabla 13. Rango de concentración de metales en cholgas.	50
Tabla 14. Concentración ($\mu\text{g}/\text{g}$) de Pb y Cd, en mejillones frescos en diferentes estaciones de muestreo.	52
Tabla 15. Concentración media mensual de plomo medida en Arica Dic. 1998 a Enero 1999 (ng/m^3).	55
Tabla 16. Concentración media de plomo en PM 10 y PM 2,5 en Iquique 1997-1998 (ng/m^3).	55
Tabla 17. Concentración media mensual de plomo en estaciones de monitoreo en Antofagasta, de Enero a Febrero 1999 (ng/m^3).	56

Tabla 18. Concentración media mensual de plomo en PM 10 en V Región (ng/m ³).	57
Tabla 19. Concentración media de plomo en PM 10 y PM 2,5 en Rancagua 1997-1998 (ng/m ³).	58
Tabla 20. Concentración media mensual de plomo en PM 10, en Concepción, 1999. (ng/m ³).	58
Tabla 21. Concentración media de plomo en PM 10 y PM 2,5 por estación en Temuco 1997-1998 (ng/m ³).	59
Tabla 22. Concentración media de plomo en PM 10 de Santiago en Invierno en 1998 (ng/m ³).	60
Tabla 23. Concentración de los elementos Pb y Cd en µg/m ³ en el período 1997 a 2003.	60
Tabla 24. Acuerdos e instrumentos internacionales relativos a los metales.	68
Tabla 25. Concentración máx. permitida de metales pesados totales en suelos agrícolas.	74
Tabla 26. Contenido máx. de metales pesados totales permitidos en lodos aplicados en distintos suelos de Chile.	74
Tabla 27. Contenido máximo permitido de metales pesados totales en compost de Chile.	74
Tabla 28. Estándares Holandeses para evaluar la contaminación de suelos, en términos de concentración total de metales.	74
Tabla 29. Límite máx. de metales pesados en el suelo, según la Ley Federal Alemana.	75





INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama E-pH del plomo.	7
Figura 2. Diagrama E-pH del cadmio.	10
Figura 3. Opciones de eliminación de los componentes de las baterías de plomo ácido usadas.	36
Figura 4. Variación Longitudinal de los contenidos medios de Cadmio en menas cupríferas entre las lats. 22°S y 33°S.	41
Figura 5. Concentración de cadmio en agua de la bahía de Concepción.	49

RESUMEN

La Política Nacional para la Gestión de Sitios con Presencia de Contaminantes corresponde a un instrumento de gestión ambiental cuya elaboración fue coordinada por CONAMA y fue aprobada por el Consejo Directivo en agosto del año 2009. Este instrumento responde a la necesidad de desarrollar un conjunto de acciones que permitan realizar un sistema de gestión que supla las deficiencias existentes y fortalezca lo desarrollado, incluyendo buenas prácticas, con el objetivo de minimizar los riesgos a la salud de la población y el medio ambiente. En base a esto se pretende disminuir los riesgos asociados a la contaminación de suelos y aguas subterráneas, por lo que se debe identificar los sitios con presencia de contaminantes, evaluar los riesgos que implican y remediar los que presentan un mayor riesgo.

La identificación de estos sitios es considerada la primera etapa de una gestión sistemática; siendo su instrumento principal un sistema de registro, el cual permite obtener un diagnóstico de la contaminación de éstos sitios.

Por su parte, a nivel internacional, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA, ha propuesto en agenda para la discusión global el impacto negativo que provocan ciertos elementos químicos, lo que generó una evaluación particular sobre metales como: plomo y cadmio.

En general, la identificación de los posibles sitios con presencia de plomo y cadmio, se basa en los principales procesos que los emiten ó productos que lo contienen, entre otros. En este sentido es preciso hacer un alcance con respecto a los vacíos existentes a nivel país, en relación a la falta de conocimientos sobre los efectos nocivos de estos metales, tanto al medio ambiente como a la salud humana, lo que causa un manejo inapropiado de estos. Cabe destacar que estos metales pueden llegar a eliminarse, reciclarse o sustituirse de una manera ambientalmente sustentable.

En base a lo anteriormente descrito, este trabajo pretende ser una herramienta que permita a las autoridades nacionales pertinentes orientar y formular acciones asociadas a la evaluación de los riesgos y magnitud, que estos metales presentan, a la salud de las personas y al medio ambiente, y así poder evaluar posteriormente medidas de control y corrección cuando lo corresponda, a nivel nacional.

ABSTRACT

The “National Management for Contaminated Sites” policy, is a management instrument elaborated by CONAMA, that was approved by its ruling council in August 2009. This policy responds to the necessity of creating a number of actions that would allow the development of a system that would overcome its existing deficiencies and strengthen what has already been developed, including procedures, that would minimize the health risks to the population and the environment. Its intent is to reduce the risks associated with the pollution of soil and under ground water sources, but to do this, the sites with the presence of pollutants should be identified, evaluate how dangerous they are, and remediate those who pose a greater risk.

The identification of these sites is considered the first stage of a systematic management, being the census its main instrument, this allows a diagnosis of the level of contaminants at these sites.

At an international level, the United Nations Environment Program (PNUMA), has proposed a global agenda to discuss the negative impact of certain elements, which led to the evaluation of specific metals such as: lead and cadmium.

The identification of sites with traces of lead and cadmium, is based in the identification of the process of that generate them and the products that might contain them. It is also necessary to address the lack of knowledge of certain countries, about the harmful effects of improper handling of these metals, to both the environment and the people. It may be noted that these metals can be removed, recycled or replaced in an environmentally sustainable way.

According to what has been described above, this study pretends to be a useful tool that may help the corresponding national authorities evaluate the scope and dangers

that these metals represent to the health of people and of the environment so they can evaluate nationwide initiatives and solutions whenever they might be necessary.

I. INTRODUCCIÓN

Un sitio contaminado se considera como un lugar o terreno, delimitado geográficamente, en el cual existe presencia de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, ó una combinación de ellos, cuyas concentraciones contribuyen un riesgo significativo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza ó la conservación del patrimonio ambiental.

La Gestión de los Sitios Contaminados, definida en la Política Nacional para la Gestión de Sitios con Presencia de Contaminantes, corresponde a un proceso sistemático en donde se pretende mejorar la calidad ambiental y la salud humana, disminuyendo así los riesgos correspondientes a la presencia de contaminantes tanto en el suelo como en las aguas subterráneas. Para que esto se lleve a cabo se deben identificar aquellos sitios potencialmente contaminados, para posteriormente evaluar el riesgo que implican y poder llegar a una etapa de mitigación, remediación y/o recuperación. La Política define como componentes del sistema de gestión a: marco institucional y legal, sistema de información, mecanismos de financiamiento y capacidad técnica, sobre los cuales se ha diseñado un plan de acción con actividades a implementar enfocados en la minimización de riesgos.

Actualmente la gestión de sitios contaminados en el país, se está abordando a través de la implementación de la Política Nacional para la Gestión de Sitios con Presencia de Contaminantes, el cual corresponde a un instrumento que entrega directrices generales en materia de control de la contaminación del suelo y las aguas

subterráneas. Esta política corresponde a un compromiso institucional, que permitió instalar en la gestión ambiental la gestión de sitios contaminados, involucrando a todas las instituciones con responsabilidad en esta temática. En ese sentido, uno de los instrumentos específicos promovidos por esta Política corresponde a un catastro de sitios potencialmente contaminados, el cual entrega información preliminar de la identificación de fuentes, rutas y receptores asociados a diferentes contaminantes, utilizando una metodología de evaluación de riesgo preliminar.

Particularmente y de manera de avanzar con el levantamiento de información a nivel país con respecto a potenciales contaminantes, se pretende contar con información específica en relación a los metales pesados como cadmio y plomo, los cuales han generado problemas medioambientales a nivel mundial, obteniendo así conocimiento y efectos de estos a nivel de país. La información recolectada ayudará a obtener un diagnóstico parcial de la problemática de contaminación de las matrices suelos y aguas subterráneas. Lo anterior permitirá dar cuenta de la magnitud del problema de contaminación asociado a los riesgos potenciales sobre la salud de las personas y del medio ambiente.

Para este trabajo, se presentará una identificación completa de estos metales, realizando un levantamiento de información asociado a sus principales fuentes, rutas de transporte del contaminante y receptores afectados, con lo cual se podrá realizar una evaluación de riesgo preliminar, priorizando así aquellos sitios más riesgosos en función de sus efectos en el medio ambiente y la salud humana. A su vez, se pretende también abordar una revisión de la normativa aplicable, proponer alternativas de prevención,

control y mejoramiento en el manejo ambiental de dichos metales, lo cual generará una herramienta de información para la gestión ambiental del plomo y cadmio en Chile.

Con lo anteriormente establecido las autoridades nacionales pertinentes podrán evaluar posteriormente y de manera cuantitativa, el riesgo que estos contaminantes presentan al medio ambiente y a la salud de la población a nivel nacional, para así poder orientar algunas medidas de control y corrección.

Cabe destacar que el estudio de estos metales pesados como contaminantes se ha manifestado a partir de que el consejo de administración del PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente), en el año 2007, en su 24° sesión, adoptó una decisión de gestión de productos químicos, por lo que, en cuanto al plomo y al cadmio, se llegó a un acuerdo de completar una revisión de información científica sobre ellos.

1.1. Objetivos

Objetivo General

Generar un instrumento de información necesario para el proceso de gestión ambiental del plomo y cadmio en Chile.

Objetivos Específicos

- Estudiar estos metales, con relación a su comportamiento en el medio ambiente y en la salud de la población.
- Identificar sus principales fuentes ya sea naturales como antropogénicas, presentes en nuestro país, como lo son sus liberaciones, productos que los contienen y posibles sitios con presencia de estos metales.
- Revisar y analizar comparativamente la normativa correspondiente al plomo y al cadmio en Chile, con las normativas internacionales.
- Analizar las posibles alternativas de prevención, manejo y control de estos metales pesados.

El desarrollo de este trabajo permitirá a CONAMA conocer información necesaria en cuanto a los metales a estudiar, la que actuará como instrumento de gestión para la identificación oportuna de sitios contaminados con plomo y cadmio en Chile. Esta información podrá aportar en el proceso de implementación de la Política Nacional

para la Gestión de Sitios con presencia de Contaminantes y de una correcta Gestión Ambiental para regular su uso, fuentes y deposición.

1.2. Fuentes de Información.

Se utilizará todo tipo de documentación que entregue información necesaria en relación a estos metales, así como también material correspondiente a la legislación Chilena e Internacional. A su vez será necesaria la revisión de diversos artículos científicos y electrónicos. Con estas herramientas se realizará un análisis de los antecedentes obtenidos en la presente recopilación.

II. QUÍMICA DE LOS METALES PLOMO Y CADMIO

Para poder abordar temas como la toxicidad y efectos en el medio ambiente de estos metales, es de suma importancia conocer sus características tanto físicas como químicas.

2.1 Plomo.

El plomo es un metal sólido a temperatura ambiente (25°C), perteneciente al grupo 4A de la tabla periódica. Es de color blanco azulado y brillo metálico, brillo que desaparece al aire, tornándose gris debido al recubrimiento por una capa de óxido. Presenta una densidad de 11,4 g/cm³, por lo que se le considera un metal pesado. Tiene gran maleabilidad y ductilidad, debido a la capacidad de sus átomos para rodar uno sobre otros en nuevas posiciones sin romper su enlace metálico. Este es considerado un anfótero, ya que forma sales de plomo de los ácidos, así como sales metálicas del ácido plúmbico. Se presenta con los estados de oxidación (II) y (IV), originando los compuestos plumbosos y plúmbicos, respectivamente.

La aplicación de diagramas de Pourbaix, también denominados diagramas de potencial redox v/s pH, es útil en la química ambiental ya que permite predecir la formación de especies químicas, dependiendo de los cambios de pH y de las condiciones de óxido reducción del sistema en que se encuentran. Por lo que a continuación se describe el diagrama de los valores aproximados del potencial en función del pH de los sistemas redox del plomo.

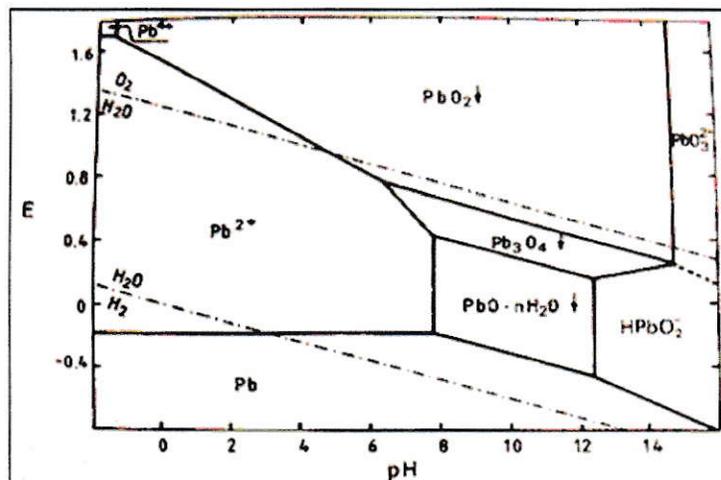


Figura 1. Diagrama E-pH del plomo. $C = 10^{-2}$ M. (Burriel; 2000)

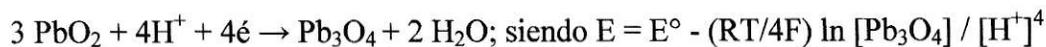
El diagrama de la figura 1, muestra líneas horizontales, las cuales son resultantes de procesos redox totalmente independientes del pH. Como se presenta en:

El plomo (II) puede pasar a plomo metálico (Pb) mediante un proceso de reducción puro, $Pb^{+2} + 2 e^- \rightarrow Pb$

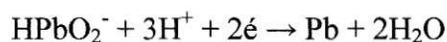
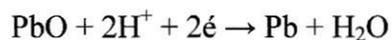
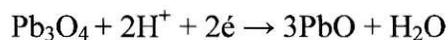
presentando un potencial de reducción de $E^\circ = -0,13V$, encontrándose por debajo del sistema $2H^+ + 2 e^- \rightarrow H_2$ con $E^\circ = 0V$, a un pH ácido. Con esto es de esperarse que el plomo se disuelva en ácidos no oxidantes (HBr, H_3PO_4 , etc), con desprendimiento de H_2 . Cabe destacar que ésto no ocurre con el ácido clorhídrico HCl y ácido sulfúrico H_2SO_4 (diluidos), debido a que el plomo se recubre de una capa protectora de las sales insolubles correspondientes. Si estos se encontraran concentrados, el plomo se disuelve por formación del complejo $PbCl_4^{-2}$, o por el complejo bisulfato de plomo $Pb(HSO_4)_2$.

Las líneas diagonales del diagrama se verifican mediante la ecuación de Nerst, las que separan procesos dependientes tanto del potencial redox como del pH del medio

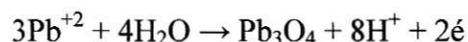
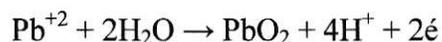
reaccionante. Estas líneas muestran la reducción del dióxido de plomo en medio alcalino como muestra la siguiente reacción:



En medio alcalino también se tiene la reducción de:

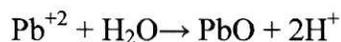


Las siguientes semireacciones se producen por la oxidación de los elementos en medios con pH ácido:

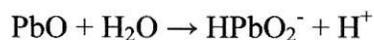


Las líneas verticales del diagrama resultan de un equilibrio tipo ácido base entre las dos especies en cuestión, por tanto es solo dependiente del pH. Esto se demuestra con el equilibrio de las siguientes reacciones:

el paso directo de plomo (II) a óxido de plomo, en una solución acuosa se logra aumentando el pH por encima de 7 (básico):



Con un aumento del pH por encima de 12 (básico) se obtiene:



Y por último se destaca que para que ocurra la siguiente semireacción, el medio debe ser extremadamente básico y oxidante:



Cabe destacar el sistema $\text{Pb}^{+2} \rightarrow \text{Pb}^{+4} + 2\text{e}^-$; éste presenta un potencial que depende mucho del pH del medio, tal como muestra el diagrama. En medios muy ácidos el potencial presenta un valor muy elevado $E^\circ = 1,694$, lo cual justifica que la existencia de plomo (IV) en disolución acuosa sea hipotética. También se destaca que en la reacción, $\text{Pb}^{+4} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{PbO}_2 + 4\text{H}^+$

el PbO_2 , presenta un gran poder oxidante, por lo que es aplicado en la oxidación de Mn^{+2} a MnO_4^- , del Br^- a Br_2 , de la bencidina, entre otros. A medida que el medio se vuelve más alcalino disminuye notablemente el potencial del sistema, pasando de $E^\circ=1,694\text{V}$ a $E^\circ=0,3\text{V}$, como consecuencia de la formación de especies insolubles más estables de plomo (IV).



siendo el HPbO_2^- fácilmente oxidado en medio alcalino a PbO_2 . Se puede mencionar que un producto tan insoluble como el PbSO_4 es oxidado por H_2O_2 a PbO_2 en presencia de NaOH (aplicación al reconocimiento de PbSO_4). También tiende a formar complejos insolubles estables en medio alcalino como PbCl_6^{-2} , ó aniones como $\text{Pb}(\text{OH})_6^{-2}$ y PbO_3^{-2} .

Ciertos ácidos orgánicos (acético, fórmico, tartárico y cítrico), disuelven el plomo metálico y alguno de sus compuestos poco solubles, por medio de la formación de complejos orgánicos respectivos (causantes del saturnismo, por su alta toxicidad). Así

también el agua carbónica disuelve pequeñas cantidades de plomo, provocando la formación de un bicarbonato complejo de plomo soluble.

Algunos tipos de sales solubles de plomo en agua son: nitrato, acetato y perclorato (todas tóxicas). Y sales insolubles de plomo en agua son sulfuro, cromato, carbonato, fosfato, sulfato, yoduro y cloruro.

2.2 Cadmio.

El cadmio es un metal sólido a temperatura ambiente (25°C), perteneciente al grupo IIB de la tabla periódica. Es de color blanco plateado y brillo metálico. Al aire húmedo se recubre de carbonato básico impidiendo que el ataque continúe. Presenta una densidad de 8,64 g/cm³, por lo que se le considera un metal pesado. Tiene gran maleabilidad y ductilidad, debido a la capacidad de sus átomos para rodar uno sobre otros en nuevas posiciones sin romper su enlace metálico. En sus compuestos actúan con el estado de oxidación (II).

A continuación se describe el diagrama de los valores aproximados del potencial en función del pH de los sistemas redox del cadmio.

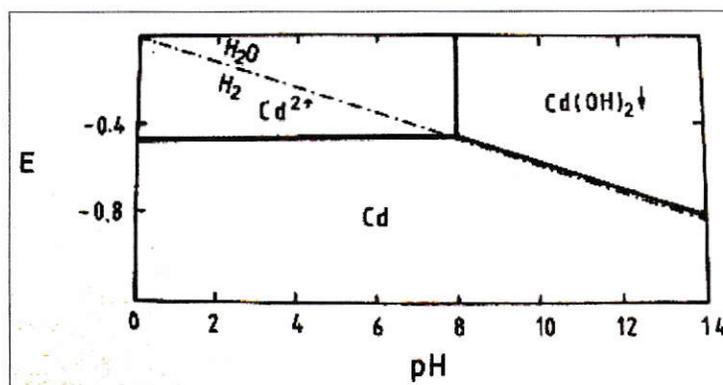


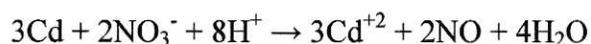
Figura 2. Diagrama E-pH del cadmio. C= 10⁻² M. (Burriel; 2000)

El diagrama de la figura 2, muestra que las líneas horizontales son resultantes de procesos redox totalmente independientes del pH. En este diagrama se presenta la reacción del cadmio (II) pasando a cadmio metálico (Cd) mediante un proceso de reducción puro:

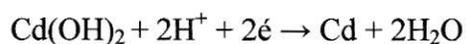
$Cd^{+2} + 2e^- \rightarrow Cd$ presentando un potencial de reducción de $E^\circ = -0,40V$, ocurrido en este caso en un medio ácido más reductor que el sistema

$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$ con $E^\circ = 0V$; por lo que el metal cadmio debe disolverse en ácidos no oxidantes, con desprendimiento de hidrogeno, $Cd + 2H^+ \rightarrow Cd^{+2} + H_2$.

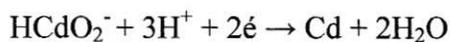
Sin embargo, los ácido clorhídrico HCl y ácido sulfúrico H_2SO_4 (diluidos), lo atacan muy lentamente, por lo que es recomendable utilizar un ácido oxidante como el nítrico, el cual lo disuelve rápidamente originando el catión cadmio (II), incoloro;



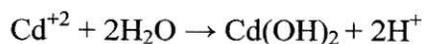
Las líneas diagonales, como se mencionó anteriormente se verifican mediante la ecuación de Nerst. El diagrama muestra que en medio alcalino el metal es más reductor como consecuencia de la formación de hidróxido de cadmio, representado por



Se podría mencionar la presencia de la siguiente reacción en un medio extremadamente básico, muy cercano a un pH 14, como ocurre con



Las líneas verticales del diagrama resultan de un equilibrio tipo ácido base entre las dos especies en cuestión, es sólo dependiente del pH, por lo que al presentarse un medio básico con un pH superior a 8, se lleva a cabo la siguiente semireacción, obteniendo hidróxido de cadmio insoluble en bases fuertes,



Cabe destacar que es fácilmente oxidar el metal, pero es evidente que no es sencillo reducir el catión cadmio (II) a cadmio metálico; para esto es necesario la utilización de reductores fuertes. Algunas de las sales solubles en agua son haluros, nitrato y sulfato. Y algunas sales insolubles en agua son óxidos, sulfuro, hidróxido y carbonatos. El cadmio (II) tiene cierta tendencia a formar compuestos covalentes, por lo que forma numerosos complejos, siendo todos ellos incoloros, siendo los más importantes analíticamente $\text{Cd}(\text{NH}_3)^{+2}$, $\text{Cd}(\text{CN})_4^{-2}$ y CdI_4^{-2} .

Las líneas punteadas presentadas en las Figuras 1 y 2, representan los límites en los que son estables las soluciones acuosas, puesto que dichas líneas se refieren a los valores de potencial fuera de los cuales (por encima de la línea superior o por debajo de la inferior) el agua se oxida ó se reduce formando O_2 e H_2 , respectivamente. El área encerrada se considera de estabilidad termodinámica del agua.

El potencial de oxidación Eh, corresponde a la capacidad oxidante del sistema, que cuanto más alto es su valor mayor es su capacidad oxidante y mayor es la concentración de su forma reducida. Dentro de los factores que lo pueden alterar son:

- La influencia del pH puede modificar el potencial redox de tres formas: cuando la concentración de H^+ participa en la semireacción, con reacciones ácido base y con reacciones de ácido base con precipitación.
- Reacciones de formación de complejos.
- Reacciones de precipitación.

Las condiciones de oxidación reducción están relacionadas con la disponibilidad de ciertos elementos como los metales pesados. En los suelos y sedimentos existen factores que afectan la disponibilidad de los metales; en tanto en las aguas sólo afectan el pH, materia orgánica y potencial redox.

- pH. Tiene efecto sobre la biodisponibilidad de la mayoría de los metales pesados al afectar el equilibrio entre la especiación química, solubilidad, adsorción e intercambio de iones en el suelo. En suelos ácidos, se produce una competencia de los iones hidrogeno, H^+ , con los cationes metálicos por los sitios de intercambio, por lo que la concentración de éstos aumenta en la solución del suelo (biodisponibilidad). Al aumentar el pH (básico) los metales son removidos de la solución del suelo y adsorbidos por los coloides del mismo, precipitando como hidróxidos insolubles, carbonatos y complejos orgánicos, disminuyendo así su disponibilidad.

- Materia orgánica. Esta tiene una alta capacidad de formar complejos ó quelatos con los metales, afectando la biodisponibilidad. El grupo carboxilato, COO^- , de la materia orgánica forma complejos estables con los metales pesados a pH básico, quedando así adsorbidos en la materia orgánica del suelo, y no biodisponibles para las plantas.

- Arcillas. Estas presentan carga eléctrica principalmente negativa en su superficie, lo que representa la capacidad de intercambio catiónico (CIC), haciendo que los metales permanezcan por más tiempo en el suelo, quedando así, los cationes metálicos con menor disponibilidad y movimiento.

- Potencial Redox. Este afecta el estado de oxidación de los metales, causando su posible disponibilidad y movilidad, lo cual ocurre más fácilmente en potenciales redox reducibles.

- Óxidos de Fe, Mn y Al. Estos se encuentran finamente diseminados en el suelo por lo que son muy activos. Los óxidos hidratados al presentarse en mayor cantidad en los suelos tienden a presentar una mayor cantidad de sitios de adsorción para los metales, disminuyendo su biodisponibilidad, teniendo estrecha relación con las condiciones de óxido reducción del suelo, ya que los óxidos de metales pesados bajo condiciones oxidantes son estables y poco móviles, durante un cambio en el potencial redox, a condiciones reductoras se disuelven y los metales pesados se vuelven móviles. También cabe mencionar que los sulfatos de metales pesados, bajo condiciones reductoras son sulfitos, los cuales por regla general son insolubles y por lo tanto muy poco móviles.

- Carbonatos. La presencia de éstos garantiza el mantenimiento de pH básicos, los que tienden a precipitar con los metales pesados, siendo el cadmio el que presenta una marcada tendencia a quedar adsorbido por los carbonatos.

- Salinidad. El aumento en salinidad puede incrementar la movilización de metales pesados por dos mecanismos, primero los cationes asociados con las sales (Na, K) pueden reemplazar a metales pesados en lugares de intercambio catiónico, segundo los aniones cloruro y sulfato pueden formar complejos estables con metales pesados en suelos de pH básicos.

2.3 Análisis Químico.

El conocimiento de las distintas especies químicas de los metales pesados ó bien de su asociación con los distintos constituyentes del suelo y sedimentos es esencial para estimar la biodisponibilidad, movilidad y reactividad química.

La extracción secuencial es un método que permite una estimación de la biodisponibilidad de los metales pesados estudiando su especiación, el cual se basa en la solubilización secuencial del metal, utilizando reactivos químicos que incrementan la capacidad de extracción en cada etapa sucesiva del fraccionamiento. Esto se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Metodología de extracción química secuencial propuesta por Tessier.

Fracción	Reacción	Función de la Fracción
I Soluble o intercambiable	$M(ads) + Ca^{+2}(liq) \leftrightarrow Ca(ads) + M^{+}(liq)$ Donde: M(ads) = metal adsorbido por los coloides. Ca ⁺² (liq) = calcio en la fase líquida, puede utilizarse cualquier otro catión. Ca(ads) = calcio adsorbido a los coloides. M ⁺ (liq) = metal en la fase líquida soluble.	Esta fracción corresponde al metal unido electrostáticamente al suelo y por ende fácilmente extraído.
II Asociados a carbonatos o extraíble	$MCO_3(sol) + H^{+}(liq) \leftrightarrow CO_2(gas) + M^{+}(liq) + H_2O$ Donde: MCO ₃ (sol) = metal en forma de carbonato en la fase sólida. H ⁺ (liq) = ácido en la fase líquida. CO ₂ (gas) = dióxido de carbono. M ⁺ (liq) = metal en la fase líquida.	Los metales pesados ligados a los carbonatos se disuelven al destruirlos por la adición de sustancias ácidas.
III Asociada a óxidos de Fe y Mn	$M-CO(sol) + oxidante(liq) \leftrightarrow CO_2(gas) + H_2O + M^{+}(liq)$ $M-CO(sol) + K_2P_2O_7(liq) \leftrightarrow CO(liq) + M^{+}(liq)$	Reducción de los óxidos de Fe y Mn a sus formas ferrosa y manganosa, manteniendo los metales liberados en fase líquida.

IV Asociada a materia orgánica y sulfuros	$\text{M-Oxi (sol)} + \text{Reductor (liq)} \leftrightarrow \text{M}^+ \text{ (liq)}$ <p>Donde: M-Oxi (sol) = metal ligado a óxidos en la fase sólida. Reductor (liq) = reductor 0.1 NH₂OH.HCl mas algún ácido en la fase líquida. M⁺ (liq) = metal en la fase líquida.</p>	El metal unido a la fracción oxidable se encuentra complejado con la materia orgánica y por tanto condiciones oxidantes liberarán este metal complejado.
V Residual	$\text{M-Min (sol)} + \text{H}^+ \text{ (liq)} \leftrightarrow \text{M}^+ \text{ (liq)}$ <p>Donde: M-Min (sol) = metal ligado a minerales en la fase sólida H⁺ (liq) = ácido en la fase líquida como fluorhídrico y perclórico. M⁺ (liq) = metales en la fase líquida.</p>	La solubilización de los metales pesados incorporados en esta se realiza mediante digestión ácida utilizando HF y HClO ₄ con el fin de lograr una total solubilización de los minerales.

La extracción secuencial presenta ventajas sobre una determinación total de los metales, ya que contribuye al conocimiento del impacto ambiental de las distintas fracciones dependiendo de la facilidad de movilización del metal. Las fracciones más peligrosas, desde el punto de vista ambiental, son las del metal intercambiable y asociado a carbonatos, que liberan el metal al producirse un descenso en el pH, y la fracción asociada a óxidos de hierro y manganeso, que puede liberar el metal por cambios en el potencial redox. El metal intercambiable y unido a materia orgánica y sulfuros puede ser fácilmente movilizado por reacciones de cambio iónico, descomposición y transformación de la materia orgánica, que pueden tener lugar bajo distintas condiciones medioambientales.

Para obtener especies químicas en equilibrio tanto en aguas, sedimentos y suelos, existe un programa computacional llamado GEOCHEM. Posee múltiples aplicaciones entre estas:

- Predecir la concentración de complejos orgánicos e inorgánicos de metales en soluciones.
- Calcular la concentración de una forma química en particular para un nutriente en solución de riesgo y así correlacionar en que forma este es utilizado.
- Observar el efecto de cambios en pH, fuerza iónica, potencial redox, contenido de agua o la concentración de algún elemento, sobre la solubilidad de algún componente químico elegido en una determinada solución.

Para cada componente de la solución en estudio el programa aplica una ecuación de balance molar, incorporando las constantes de equilibrio termodinámicas corregidas por la fuerza iónica. La solución del conjunto de ecuaciones algebraicas no lineales resultantes del balance molar aplicado simultáneamente a todos los componentes, proporciona la concentración de cada especie disuelta, sólida y absorbida en el sistema acuoso en consideración. La metodología aplicada para los cálculos está basada en la termodinámica química. El programa posee una base de datos termodinámica a 25°C y a 1 atm, para 36 metales y 69 ligandos.

La espectrofotometría de absorción atómica es un método capaz de detectar y determinar cuantitativamente ciertos metales dentro de ellos cadmio y plomo. Se emplea en el análisis de aguas, suelos, aire, toxicología, industria petroquímica, etc. Este método consiste en la medición de especies atómicas por su absorción a una longitud de onda particular. La especie atómica se logra por atomización de la muestra, siendo los distintos procedimientos utilizados para llegar al estado fundamental del átomo lo que diferencia las técnicas y accesorios utilizados.

La espectroscopía de emisión atómica utiliza la medición cuantitativa de la emisión óptica de átomos excitados para determinar la concentración de la sustancia analizable. Los átomos del analito en la solución son aspirados en la región de excitación donde son disueltos, vaporizados y atomizados por una llama, descarga o plasma. Estas proveen energía suficiente para promover los átomos a niveles de energía altos. Los átomos vuelven a niveles más bajos emitiendo luz.

La espectrometría de masas permite la medición de iones derivados de moléculas, analiza la composición de diferentes elementos químicos e isótopos atómicos, separando los núcleos atómicos en función de su relación masa-carga (m/z). Puede utilizarse para identificar los diferentes elementos químicos que forman un compuesto, o para determinar el contenido isotópico de diferentes elementos en un mismo compuesto.

La EPA (Agencia de Protección Ambiental), posee métodos normados de análisis ambiental. Para la evaluación de residuos sólidos, en plomo y cadmio total se tiene:

- Método 6010, Espectroscopía de Emisión Atómica por Plasma Acoplado Inductivamente.
- Método 6020, Espectrometría de Masas por Plasma Acoplado Inductivamente.

Método 7000 A, Método Espectroscopía de Absorción Atómica para metales totales, suspendidos y disueltos. Para plomo total los métodos son:

- Método 7420, Espectroscopía de Absorción Atómica con llama, Aspiración Directa.

- Método 7421, Espectroscopía de Absorción Atómica técnica de horno de grafito.

Para el cadmio total los métodos son:

- Método 7130, Espectroscopía de Absorción Atómica Aspiración Directa.
- Método 7131, Espectroscopía de Absorción Atómica técnica de horno de grafito.

Preparación de muestras para el análisis de metales:

- Método 3050B, digestión ácida de sedimentos lodos y suelos. Este método ha sido escrito para proporcionar dos procedimientos de digestión separados, uno para la preparación de los sedimentos, lodos; y las muestras de suelo para su análisis por Espectroscopía de Absorción Atómica de llama, por Espectrometría de Emisión Atómica de Plasma Inductivamente Acoplado, por Espectroscopía de Absorción Atómica por horno de grafito, ó Espectrometría de Masas por Plasma Acoplado Inductivamente.

Para el análisis de metales pesados en distintos tipos de aguas, se tienen los siguientes métodos normados por la EPA:

Método 7000 B, Espectroscopía de Absorción Atómica de llama (aspiración directa).

Para metales plomo y cadmio en agua potable, aguas residuales, superficiales, subterráneas y aguas artificiales, se tiene:

- Método 200.8, por Plasma Inductivamente Acoplado– Espectrometría de Masas.
- Método 200.7, por Plasma Inductivamente Acoplado-Espectroscopía de Emisión Atómica.
- Método 200.9, por Absorción Atómica de horno de grafito.

Determinación de metales en emisiones de fuentes estacionarias:

- Método 29, puede ser utilizado para determinar las emisiones de partículas, además de las emisiones de metales. Su análisis se realiza por Espectroscopía de Absorción Atómica ó de emisión de plasma de argón acoplada inductivamente.

También existen métodos de análisis descritos para aguas crudas, agua residual, agua de bebida y agua para fines industriales por “Standard Methods” for Examination of Water and Wastewater, 20th edition 1998.

Metodologías para cadmio:

- 3500 - Cd B, Método de Espectroscopía de Absorción Atómica de llama y horno de grafito.
- 3500 – Cd C, Método de Espectrometría de masas por plasma de acoplamiento inductivo.
- 3500 - Cd D, Método de Ditizona.
- 3111 B, Método de extracción /llama de aire – acetileno, Espectroscopía de Absorción Atómica.

Metodologías para el plomo:

- 3113 B, Método de Espectroscopía de Absorción Atómica de horno grafito.
- 3125 B, Método de Espectrometría de masas por plasma de acoplamiento inductivo.
- 3120 C, Plasma de Acoplamiento Inductivo.
- 3111 B, Método de extracción /llama de aire – acetileno, Espectroscopía de Absorción Atómica.

III. EFECTOS DEL PLOMO Y CADMIO EN SALUD HUMANA

La exposición de la población al plomo se produce generalmente como consecuencia a la ingesta de alimentos, agua potable ó aire contaminado. En niños y lactantes se debe al hecho de llevarse las manos a la boca después de jugar en suelos contaminados, ó tener contacto con casas antiguas pintadas con pinturas con plomo (Corey, 1989). En cuanto a la exposición ocupacional, en que el plomo es parte de sus procesos industriales, ha sido de gran interés y estudio, ya que la inhalación es la principal vía de exposición al plomo. La vulnerabilidad a este metal va a depender de factores como la edad (niños menores de 6 años, incluyendo en estado de gestación, son los más susceptibles), nutrición, tabaquismo, consumo de alcohol y en general el estado de la salud, así como también puede estar vinculada a un factor genético, ya que el gen que codifica la deshidrogenasa del ácido aminolevulínico, una enzima crítica en la producción (biosíntesis) del grupo hemo, podría ser modificado. (UNEP; 2008 a)

El plomo es absorbido por vía respiratoria, digestiva y a través de la piel, siendo distribuido rápidamente por la sangre (vida media de 20-40 días) y a los tejidos blandos como hígado, riñones, pulmones, cerebro, bazo, músculos y corazón, presentando en ellos una vida media de 6-8 semanas. Su principal acumulación se presenta en los huesos y dientes, con una vida media entre 20-30 años (representando el 90% del contenido total), pudiendo actuar como una fuente endógena liberándose plomo lentamente a la sangre. Este metal es también fácilmente transferido al feto a través de la gestación; siendo acumulado en el esqueleto durante su desarrollo hasta aprox. los 60 años (UNEP;

2008a). Cabe mencionar que el plomo excretado se realiza por vía urinaria, como también por fluidos de secreción gastrointestinal.

El mecanismo tóxico del plomo presenta tres modalidades: compite por los sitios de inserción con metales esenciales como calcio (tomando su lugar en huesos y dientes) y zinc; otra es mediante su afinidad por los grupos sulfhídricos (SH-), imidazol, amino, carboxilo y fosfato (alterando su forma y función); finalmente como consecuencia de ello presenta una fuerte unión a las membranas biológicas, proteínas y vías metabólicas como fosforilación oxidativa y la síntesis de hemoglobina, alternado el transporte de iones esenciales. También se destaca que el plomo es desmielinizante causando degeneración axonal. Síntomas por intoxicación con plomo van desde alteraciones digestivas como: dolores gástricos, vómitos, diarreas, insuficiencia hepática aguda; alteraciones hematológicas como: anemia hemolítica; alteraciones renales como: insuficiencia renal aguda; alteraciones neurológicas como: encefalopatía saturnina, convulsiones, estados de coma, cefaleas, insomnio, alteraciones de la memoria. En estados de intoxicación crónica se presentan cuadros de esterilidad y de abortos espontáneos.

En cuanto al metal cadmio, este se describe a continuación. La exposición de la población al cadmio en los ambientes laborales se produce principalmente por vía inhalatoria, y en menor medida por medio de los alimentos, bebidas y tabaco. El resto de la población se expone por medio de la ingesta de comida (dietas ricas en fibra y mariscos, la concentración de cadmio en la mayoría de los alimentos van desde 0,01 a 0,05 mg/kg, pero concentraciones más elevadas se encuentran en los frutos secos y

aceite de semillas, moluscos, hígado y riñón (UNEP; 2008 b)), proporcionando más del 90% de la ingesta total, según la OMS, debido a que la presencia de cadmio en los productos alimenticios ha aumentado como consecuencia de su contaminación en el medio ambiente. Los grupos de población más vulnerables son ancianos, diabéticos y fumadores; las mujeres pueden llegar a estar en este grupo debido a su baja concentración de hierro producto de la menstruación, lo que significa que absorbe más cadmio que los hombres en el mismo nivel de exposición. El tabaco es otra fuente de absorción de cadmio, el fumar cigarrillos puede representar una fuente adicional de cadmio, dependiendo de la marca, es decir, el origen del tabaco.

El cadmio es absorbido principalmente por vía respiratoria (< 24 hrs), el cual es distribuido por el torrente sanguíneo (vida media 2,5 meses), en donde gran parte de este se une a la pseudo proteína, metalotioneína (rica en grupo -SH), siendo esta el medio de transporte del cadmio. Este se acumula en gran parte en el riñón (vida media 4-60 años) e hígado (4-19 años). Normalmente, la excreción del cadmio es lenta siendo realizada por la orina y en menor cantidad con la bilis, y el tiempo de vida media en el organismo total es prolongada, 30-40 años. La acción tóxica del cadmio se debe a su afinidad por los grupos sulfhidrilo -SH, carboxilo -OH, carboxilo, fosfatil, cisteinil e histidil, inhibiendo a las enzimas que poseen estos grupos, también se debe a su acción competitiva (al igual que el plomo) con elementos esenciales como, Zn, Fe y Ca, alterando las enzimas y sus procesos bioquímicos. (Ramírez, 2002)

En el riñón el cadmio provoca disfunción renal conduciendo a alteraciones en la reabsorción de proteínas, glucosa y aminoácidos. El primer signo es la proteinuria

tubular, que es el resultado de los daños a las células tubulares proximales y se detecta como un aumento en la baja masa molar de las proteínas en la orina. Los daños causados en los huesos se basan en síntomas como alta tasa de fracturas, osteoporosis, y un intenso dolor de estos (Tapia; 1994). Estas fueron las características de la enfermedad Itai-Itai, descrita en Japón en la década de 1940 entre las personas que habían comido arroz cultivado en los campos regados con aguas contaminadas con cadmio. Esta enfermedad resulta de la combinación de una dieta baja en calcio y a una alta exposición al cadmio, causando la enfermedad renal, y posteriormente, la enfermedad ósea. Se ha destacado que datos de estudios sugieren que el cadmio tiene efectos sobre el eje hipotálamo-hipófisis y el sistema endocrino. (Corey; 1987)

El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer ha clasificado al cadmio en el Grupo 1: cancerígenos para los seres humanos; los EE.UU y la Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha determinado que el cadmio es un probable carcinógeno humano por inhalación. Algunas publicaciones han sugerido una relación entre el cadmio y el cáncer renal, de próstata y de mama en los seres humanos. (UNEP; 2008 b)

3.1 Casos emblemáticos de exposición al plomo.

3.1.1. Población expuesta al plomo en acopios mineros en la ciudad de Arica.

Uno de los hechos más relevantes de población intoxicada con plomo en Chile, es lo ocurrido en Arica. Desde 1984 existe un acopio de material de desecho importado desde Suecia por la empresa PROMEL, la cual lo caracterizó como “barros con

contenido de minerales". Este acopio desde esa fecha estuvo localizado en el barrio industrial de la ciudad, para luego convertirse en un barrio residencial, con una estimación de 15.000 las personas que viven en el área. El acopio de 30 m de ancho, 90 m de largo y 3,5 m de alto, alcanza las 18.500 ton. Existen otras dos fuentes de contaminación en la ciudad de Arica, estos son: la maestranza de ferrocarriles (detrás de la Villa Santa María) y un sector de acopio de mineral en el puerto. En la maestranza durante 10 años, existió un lugar para el acopio y almacenamiento de concentrado de minerales. Actualmente los sectores de acopio ya no se encuentran allí. Fueron trasladados al puerto, sin embargo el suelo de la maestranza quedó altamente contaminado. El viento, ha llevado las partículas ó polvo de plomo desde ese lugar hacia los alrededores, siendo uno de los más afectados la Villa Santa María.

Se estudió el nivel de plomo en sangre en una muestra de 515 personas expuestas a los acopios, encontrando el 49% de ellas con niveles superiores a 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$ y el 16% superiores a 16 $\mu\text{g}/\text{dl}$. El examen físico de 200 personas resultó negativo para síntomas o signos clínicos. Ningún caso requirió de tratamiento médico, el Ministerio de Salud recomendó tratar a niveles sobre los 35 $\mu\text{g}/\text{dl}$ y el nivel más alto fue de 28 $\mu\text{g}/\text{dl}$. Estos resultados y las medidas tomadas requieren de evaluación y preocupación ya que según la OMS, establece que los niveles máximos permitidos en sangre de niños es < 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$; y para adultos es entre 15-20 $\mu\text{g}/\text{dl}$. (Urrutia; 2003)

3.1.2. Exposición severa a plomo ambiental en una población infantil de Antofagasta, Chile.

En los patios de la empresa Ferrocarril Antofagasta Bolivia, se acopian desde hace varias décadas metales pesados a granel debido a la existencia de un Tratado Internacional que facilita el libre tránsito y almacenamiento de minerales bolivianos hasta ser embarcados por el puerto de Antofagasta. En los alrededores de este sitio existen numerosas viviendas, calculando que en un radio de 300-400 m habitan aprox. 8.000 personas. Se realizó el análisis del contenido de plomo en aire midiéndolo en PM 10, se observó que en el sector del puerto la concentración de plomo es más alta, alcanzando un promedio de $0,28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en tanto el sector Ferrocarril y la población de referencia tienen niveles de plomo similares, de $0,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $0,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Esto hace suponer que en el sector Ferrocarril los acopios de concentrado de plomo no han determinado un aumento significativo del plomo en aire en la fracción respirable. Sin embargo, el sector del Puerto aparece con niveles 2 a 3 veces mayores, probablemente por el elevado número de autos, buses y camiones que transitan por ese lugar, contribuyendo a la contaminación por el plomo de la gasolina.

Las concentraciones de plomo en suelos variaron entre 81 y 3.159 mg/kg en el sector del Ferrocarril, y entre 51 y 321 mg/kg en el sector no expuesto. El contenido de plomo en agua de las casas de los niños estudiados, cinco muestras sobrepasaron la norma chilena para plomo en agua de consumo humano (0,05 mg/L), alcanzando el valor máximo a 0,17 mg/L.

Tabla 2. Frecuencia de niños con niveles de plomo en sangre sobre 10 y 20 $\mu\text{g}/\text{dl}$ según sector Antofagasta, Chile 1998. (Sepúlveda; 2000)

Frecuencia de niños con niveles de plomo en sangre sobre 10 y 20 $\mu\text{g}/\text{dl}$ según sector. Antofagasta, Chile 1998					
Sector	Pb-S \geq 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$		Pb-S \geq 20 $\mu\text{g}/\text{dl}$		Total
	n	%	n	%	N
Ferrocarril	205	47,5	43	10	432
Puerto	17	31,5	5	9,3	54
No expuesto	0	0	0	0	75
Total	222	39,6	48	8,6	561
Pb-S = plomo sanguíneo					

Cabe destacar, de la tabla 2, que la población infantil cercana a los sectores de Ferrocarril y Puerto, presentan una importante concentración de plomo en la sangre entre 10 y 20 $\mu\text{g}/\text{dl}$, representados por cerca de la mitad de la población evaluada en esos sectores.

IV. FUENTES DE PLOMO Y CADMIO EN CHILE

4.1 Fuentes naturales de plomo y cadmio.

Las principales fuentes naturales para la movilización del plomo y cadmio de la litosfera a la biosfera corresponden a la actividad volcánica, erosión de rocas, partículas de suelo aerotransportado, aerosoles marinos, incendios forestales, entre otros. La erosión de las rocas lleva a emitir estos metales a los suelos y a sistemas acuáticos que lo rodean, siendo un papel importante en el ciclo global de ambos metales. (Bermejo; 1982)

Se ha estimado que la concentración media de plomo en la corteza terrestre es de 12 a 17 mg/kg, mientras que la concentración de plomo en diferentes rocas que forman el suelo oscila entre 7-15 mg/kg para pizarras negra, 2-18 mg/kg para rocas basálticas. El promedio global de concentración de plomo en el suelo que se ha reportado es aprox. 22 mg/kg. A su vez se estima que la concentración de cadmio en la corteza terrestre varía de 0,008 a 0,1 mg/kg de suelo, mientras que la concentración de cadmio en rocas y suelos comunes oscila entre 0,001-0,60 mg/kg para rocas ígneas, y 0,05-500 mg/kg para las rocas sedimentarias.

Los minerales para plomo se presentan como galena (PbS) siendo la principal fuente de producción de plomo (asociada a minerales de zinc, cobre, cadmio, hierro), la cerusita (PbCO₃) y la anglesita (PbSO₄); mientras que los minerales de cadmio son muy escasos, como greenockita (CdS), cadmoisita (CdSe), monteponita (CdO) y otavita (CdCO₃). (Corey; 1987).

Cabe destacar que los procesos naturales por los cuales se libera cadmio son insignificantes como fuentes de contaminación en comparación con el que procede de las actividades del hombre. (Badillo; 1985)

4.2 Fuentes antropogénicas de plomo y cadmio.

Debido a las propiedades fisicoquímicas del plomo, se ha podido aplicar en diferentes usos industriales. Sus principales fuentes se pueden dividir en tres grupos:

1. Fuentes estacionarias: Minería, refinación, fundición entre otras.
2. Fuentes móviles: parque automotriz.
3. Químicas: desechos o abonos.

Según la OMS, un total de 800.000-1.800.000 ton de plomo se destinó a depósitos de desechos o liberados al suelo. Las tres principales categorías de este tipo de emisiones fueron: los residuos de productos de minería, fundición y escorias. Esto se puede ver más detalladamente en la siguiente tabla.

Tabla 3. Estimación de la emisión antropogénica mundial de plomo hacia la atmósfera.

(Environmental Health Criteria 165, Inorganic Lead, OMS 1995)

Fuente	Emisión (ton/año)
Combustión de carbón:	
- Plantas de energía eléctrica	780 - 4 650
- Industrial y doméstico	990 - 9 900
Combustión de Petróleo:	
- Plantas de energía eléctrica	230 - 1 740
- Industrial y doméstico	720 - 2 150
Producción de Plomo Fundición:	
- Minería	1700 - 3 400
- Producción de Plomo	11700 - 31 200

- Producción de Cobre-Ni	11000 - 22 100
- Producción de Cadmio-Zn	5520 - 11 500
Otros:	
- Producción de acero	1070 - 14 200
- Fuentes móviles	248 030

Como ya se mencionó se puede ver que el plomo tiene un gran número de aplicaciones, el cual puede ser aleado con pequeñas cantidades de otros metales como, antimonio (por ejemplo, en las baterías, cables), cobre (por ejemplo, en laminas de plomo y tuberías de plomo) o con plata (por ejemplo, en soldaduras) y estaño (peltre, soldaduras) (UNEP; 2008 a).

A continuación se mencionan de forma detallada algunas de sus principales aplicaciones:

- Baterías: Se presenta como plomo metálico, dióxido de plomo y sulfato de plomo (II). Su uso principal es para el arranque de los vehículos.
- Aditivos para gasolina: Se presenta en forma de tetraetilo y tetrametilo de plomo, utilizado como agente antidetonante en la gasolina. En todo Chile a fines de marzo del año 2001, ENAP dejó de producir y distribuir la bencina de 93 octanos roja, combustible con un alto contenido de plomo.
- Tubos de rayos catódicos: El uso de vidrio plomado como blindaje contra radiación en los tubos de rayos catódicos cada vez es menos usado, ya que ha sido reemplazada por la tecnología de panel plano (plasma, LCD), la que posee vidrio plomado pero significativamente en menor cantidad.
- Pigmentos: Compuestos de plomo son usados en pigmentos de pinturas, plásticos y cerámicas, como litargirio (PbO), con dos formas de diferentes estructuras cristalinas -

rojas y amarillas. Dióxido de plomo (PbO_2) de color marrón y "El plomo rojo" (Pb_3O_4), este históricamente se utilizaba como pigmento anticorrosivo, como inhibidor de óxido de pintura utilizada para la protección de acero. El carbonato básico de plomo, $\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ (albayalde), es utilizado para la pintura en hogares y aún sigue siendo una fuente importante de exposición al plomo.

- Estabilizadores de PVC: Existen a base de plomo en diversos compuestos como sulfatos, fosfitos, ftalatos, estearatos, carbonatos; algunos tienen un doble efecto tanto de lubricante como estabilizador. La ventaja de estos es que no incrementan la conductividad del PVC, siendo usado en aplicaciones de cables. Su función principal es retardar la degradación que la luz y el calor producen en el producto.

En cuanto al cadmio y sus principales fuentes, este se presenta principalmente como un subproducto de la minería, fundición y refinación del zinc, y en menor medida del plomo y cobre. Su porcentaje en los concentrados de zinc varía, desde 0,07 a 0,93%. Cabe destacar que los principales usos del cadmio en las últimas décadas han aumentado por el uso de pilas Ni-Cd alcanzando un 82% del consumo mundial de cadmio por medio de estas, y disminuido en el resto de sus posibles aplicaciones. Esto se puede visualizar mejor en la tabla 4.

Tabla 4. Consumo mundial de cadmio en distintos usos, en los años 1980, 1995, 2005.

(UNEP; 2008 b)

Aplicaciones	1980		1995		2005	
	Ton. de Cd/año	%	Ton. de Cd/año	%	Ton de Cd/año	%
Baterías	3.917	23	12.627	67	13.240	82
Pigmentos	4.598	27	2.639	14	1.615	10
Galvanoplastia	5.790	34	1.508	8	969	6
Estabilizador de polimeros	2.044	12	1.696	9	242	1.5
Otros	681	4	377	2	81	0.5
Total	17.030	100	18.847	100	16.146	100

A continuación se mencionan de forma más detallada alguna de los principales usos del cadmio.

- Baterías. Las pilas de Ni-Cd son consideradas secundarias o recargables, de uso domestico e industrial, como en sistemas de partida para motores de avión hasta un control remoto. Estas dan corrientes exponencialmente altas, pudiendo cargarse cientos de veces y tolerantes a la sobrecarga.
- Pigmentos. Estos son utilizados en plásticos, esmaltes, cerámicas, pinturas, aunque el uso en pinturas y tintes hoy día es obsoleto. Algunos de estos son sulfuro de cadmio y zinc (amarillos), y sulfoseleniuro de cadmio (rojos).
- Revestimiento. El cadmio se deposita electrolíticamente sobre metales, como hierro o acero, sobre los que forma un revestimiento químicamente resistente a la corrosión. Otras aleaciones son, por ejemplo, con el cobre para líneas eléctricas aéreas, y con plata usado principalmente en joyería.

- Estabilizadores de PVC. Es considerado como de larga duración. El cadmio se presentaba bajo la forma de estearato o laureato, utilizados en combinación con sulfato de bario. Este ha sido principalmente utilizado en materiales al aire libre como tuberías, canaletas, marcos de ventanas y puertas, techos, etc.
- Fertilizantes fosforados. Durante el proceso de elaboración de los fertilizantes fosfatados, a partir de dicho material, quedan metales como impurezas, a nivel de trazas como el cadmio, entre otros.
- Otros usos. Actualmente se utilizan para paneles solares hechos de telurio de cadmio, el cual es mucho más económico en producción que el de silicio.

Aparte de los mencionados anteriormente, el plomo y el cadmio están presentes en otras aplicaciones, los que se enumeran de forma más detallada en ANEXO I.

4.3 Presencia de plomo y cadmio en Chile.

- Minerales con presencia de plomo y cadmio.

En el año 2004, la producción minera mundial de plomo se estimó en cerca de 3 millones de ton. El plomo es extraído en más de 40 países de todo el mundo, siendo los principales productores China y Australia, representado por el 30% y 22%, respectivamente, de la producción minera mundial. La cantidad que puede ser extraída con la tecnología que existe actualmente permitió su ascenso a un total de 67 millones de ton.

Como se ha mencionado los minerales ricos en plomo se producen junto a otros metales, lo mismo ocurre para el cadmio. Cabe destacar que la producción minera de

plomo mundial ha disminuido en los últimos años, ya que su reciclaje y refinamiento ha aumentado notablemente.

Los principales yacimientos de plomo y cadmio en Chile, aparecen siempre ligados estrechamente al zinc u a otro tipo de minerales, presente como mena secundaria. La baja producción Chilena de estos metales se debe a su tamaño reducido (Midot & col.; 1994). Es de interés medioambiental que no se conoce con certeza la actual condición de estos yacimientos, por lo que debería de corresponder una evaluación pertinente sobre su posible actividad o pasividad ambiental, además de evaluar la importancia, en cuanto a capacidad extractiva, que tienen tanto el cadmio como el plomo en estos yacimientos. Los yacimientos presentes a lo largo de Chile se presentan resumidos geográficamente en el ANEXO II.

- Reciclaje de baterías de plomo ácido.

El plomo puro es fundamentalmente importado. El plomo nacional proviene principalmente del reciclaje de desechos de este metal (baterías). En la actualidad en Chile se encuentran aprobados por las COREMAS correspondientes, tipos de proyectos basados en el reciclaje de baterías solo en las regiones II, III, IV, V y RM, siendo las más destacadas empresas Recicladora Ambiental Ltda., Soluciones Ecológicas del Norte S.A., Bimar Chile Ltda. (en construcción); Baterías Cosmos (actualmente clausurada), Tecnorec S.A. y Bravo Energy. (Graña; 2009)

El objetivo principal de estas plantas de reciclaje es, minimizar el impacto ambiental que las baterías pueden llegar a provocar si no son tratadas adecuadamente y con responsabilidad. En la separación de las partes de la batería para su reciclado se

generan tres tipos de residuos: electrolito ácido, placas de plomo y plásticos, lo cual se esquematiza en la figura 3, descrita a continuación.

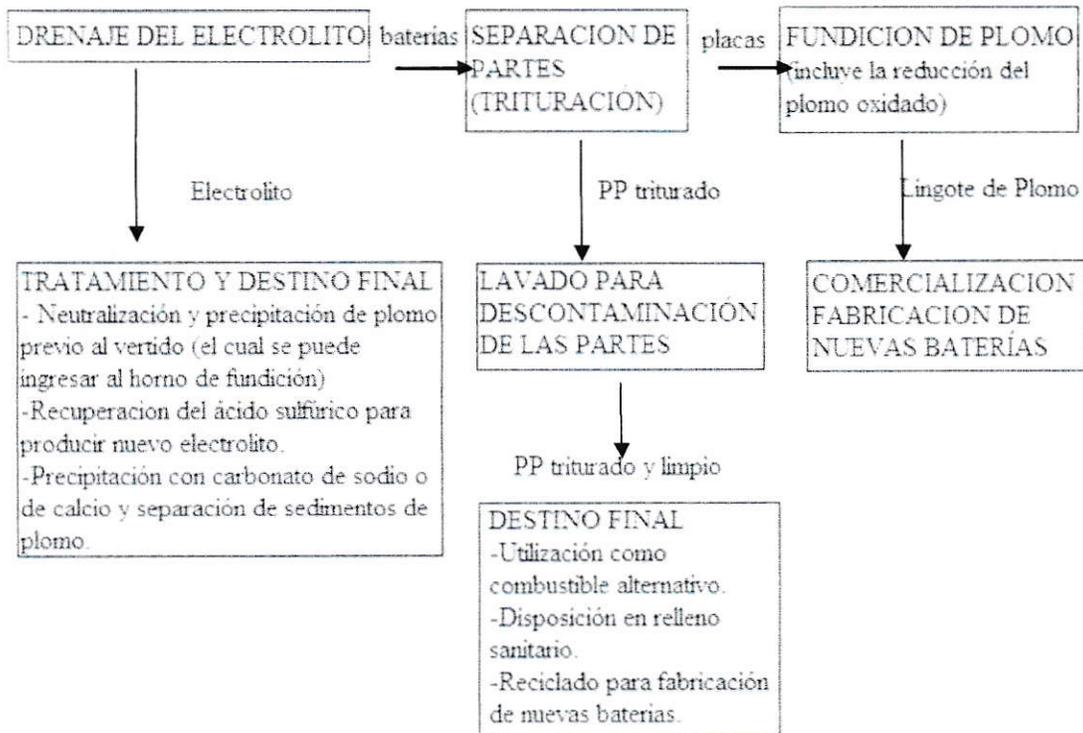


Figura 3. Opciones de eliminación de los componentes de las baterías de plomo ácido usadas. (CONAMA/GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit),

“Guía técnica sobre manejo de baterías de plomo ácido usadas”)

Tabla 5. Listado de empresas que funden plomo y aleaciones, región Metropolitana.
(PROCEFF; 2009. Urrutia; 2003)

Razón Social	Comuna	Año 1998	Año 2009
ALLE ITS CHILE LTDA.	Lampa	/	
BATERÍAS COSMOS LTDA	Lampa	/	/
CIA. ELABORADORA DE METALES S.A.	San Miguel	/	/
CIA. IND. DE TUBOS DE ACERO S.A.	Maipú	/	/
CIA. MANUFACTURA DE METALES LTDA.	Cerrillos	/	
DANIEL OSMAN OCHOA	Lampa	/	
GOODYEARDE CHILE S.A.I.C.	Maipú	/	
FCA. MATERIALES DE COBRE LTA.	Lampa	/	
FUNDICION AMERICA S.A.	Santiago	/	
FUNDICION RICARDO LEÓN	Lampa	/	
IND.NAC. DE PLOMO INDEPP LTDA	Quinta Normal	/	/
INDS. GRALES.Y COMPLEMENT. DEL GAS S.A.	Estación Central	/	
IND. METAL SORENA S.A	San Miguel	/	
NIBSA S.A.	San Joaquín	/	
MEDIDORES LAUTARO S.A.I.C.	Santiago	/	
MANUF. METALES OFFERMANN'S FLOOD	San Miguel	/	/
PLOMETAL	Quinta Normal	/	
SERGIO CACERES MUÑOZ	Pudahuel	/	
SGS CHILE LTDA.	Quilicura	/	
SOC. NAC. METALURGICA LTDA. SONAMET	San Joaquín	/	/

- Pilas de Níquel-Cadmio.

En Chile se podrían considerar este tipo de pilas como uno de los mayores usos en el que se presenta este metal. Cabe destacar que la información existente en Chile de este tipo de pilas es poco clara con respecto a su peligrosidad una vez que se vuelven residuos.

Solo se conocen campañas a nivel de ciertos organismos (universidades, supermercados, municipios), los cuales no son de reciclaje, si no que entrega un aporte a su disposición selectiva para luego ser trasladado en un relleno de seguridad. Y por último no existe una normativa específica en relación a su manejo y disposición final de pilas en Chile, lo que hace pensar en su necesidad, teniendo en cuenta el carácter tóxico y peligroso de los metales que estas poseen.

4.4 Principales procesos industriales que emiten ambos metales.

Los principales contaminantes del aire emitidos por las fundiciones primarias de cobre son el material particulado y el SO₂. Dentro del material particulado, existen metales, como plomo y cadmio. En Chile esto puede ser de gran importancia destacando que la extracción de cobre es uno de los mayores aportes económicos en el país. A continuación se muestra la presencia de plomo en alguna de las principales zonas de fundición de cobre en Chile, lamentablemente no existe un registro similar con respecto al cadmio.

La Fundición Ventanas, ubicada a 8 Km. de Quinteros en la V Región, sus principales flujos de entrada, salida y de emisión, al igual que el plomo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medido en PM10, se muestran resumidos en las tablas 6 y 7, descritas a continuación.

Tabla 6. Plomo emitido; Fundición Ventanas. (Urrutia; 2003)

Fundición	Ton/mes	Recuperación	Plomo en PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Estación Los Maitenes, 1998.	
Entrada	110,4		Mínimo	0,24
Salida	95,2	86,3%	Promedio	0,60
Emisión	15,17		Máximo	0,92

Para la Fundición Hernán Videla Lira, ubicada en la localidad de Paipote, a 8 Km. de Copiapó en la III Región, se ejemplifica a continuación.

Tabla 7. Plomo emitido; Fundición Paipote. (Urrutia; 2003)

Fundición	Ton/mes	Recuperación	Plomo en PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 1999.	
Entrada	112,47		Mínimo	0,12
Salida	74,70	66,4%	Promedio	
Emisión	37,77		Máximo	1,08

De las tablas 6 y 7 se desprende lo siguiente, la fundición que emite en promedio la mayor cantidad de plomo superando la norma de calidad primaria para plomo en aire (D.S. N° 136) es la Fundición Ventanas, es por eso que existe un Plan de Descontaminación Atmosférica del Complejo Industrial Ventanas, siendo aprobado en D.S. N° 252 de 1992, en donde esta área es declarada zona saturada por SO_2 y material particulado. Las medidas implementadas por Chilgener S.A. y Fundición/Refinería Ventanas fueron la instalación de un precipitador electrostático y la disminución del contenido de azufre y ceniza en el carbón, así como también la implementación de una planta de ácido, la instalación de un horno eléctrico y el manejo de los gases de los convertidores y del horno eléctrico. Lo mismo ocurre con un Plan de Descontaminación

de la Fundición Hernán Videla Lira de la Empresa Nacional de Minería, siendo aprobado en D.S. N° 180 de 1995, también declarada zona saturada por SO₂ y material particulado, aplicando nuevas tecnologías en sus procesos. Por esto es de esperarse que estos metales hayan disminuido en los polvos de cobre con los años, debido a la implementación de planes de descontaminación atmosférica.

En cuanto al metal pesado cadmio, la figura 4, muestra el estudio realizado de la distribución regional de cadmio en menas cupríferas entre los 22° y 33° S (ENAMI). Dicho estudio se realizó entre los años 1967-1969, lo cual incluyó un muestreo y análisis de menas, concentrados y precipitados de Cu. Esta figura muestra una clara tendencia a encontrarse mayormente enriquecido con cadmio entre los 32° y 33° S, alcanzando aprox. 90 g/t (ppm) de cadmio.

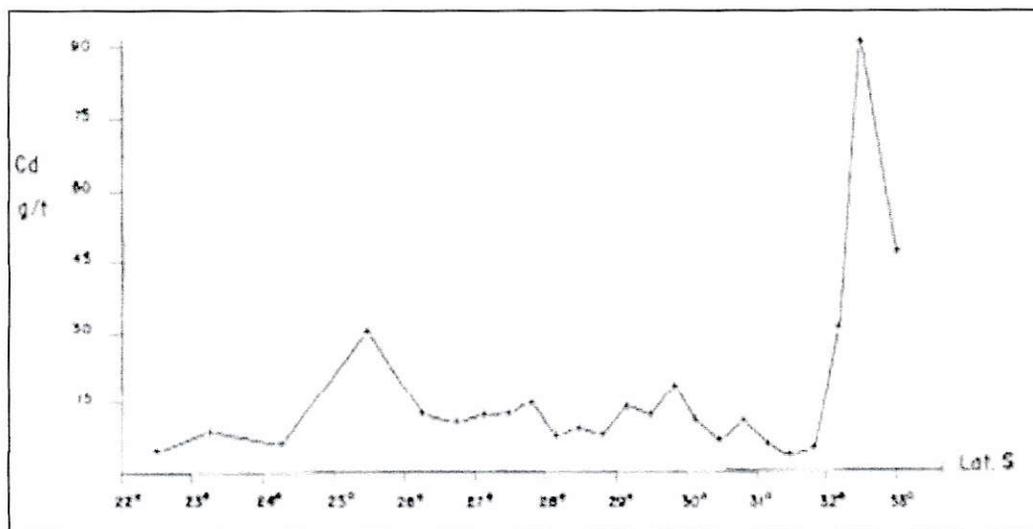


Figura 4. Variación Longitudinal de los contenidos medios de Cadmio en menas cupríferas entre las lats. 22°S y 33°S. (Oyarzún & col.; 1991)

V. ESTUDIOS DE PLOMO Y CADMIO EN DISTINTOS SISTEMAS AMBIENTALES.

Existen diversos estudios realizados para los distintos sistemas ambientales, aplicados a las distintas regiones del país, con el fin de tener la mayor representación posible de la presencia de estos metales como contaminantes. Estos estudios se presentan en los sistemas suelos, aguas, sedimentos, atmosférica, y algunos alimentos.

5.1 Estudios en suelos.

Cada metal presenta un comportamiento diferente en el suelo, el que depende de la composición del material parental, como de la exposición del suelo a procesos de contaminación debido en su mayoría por sustancias químicas tóxicas provenientes de actividades mineras e industriales. Esta contaminación, posee tres modelos de descarga: hídrica, de relaves y otros residuos disueltos; y atmosférica. Cabe destacar que la incorporación directa de ciertos fitosanitarios que usados en forma excesiva pueden llegar a contaminar los suelos con plomo y cadmio, entre otros metales.

Entre los años 1981 y 1990, INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias) desarrolló estudios relacionados con el contenido total de metales pesados en suelos aluviales entre los ríos Huasco (III Región) y Simpson (XI Región). Los resultados obtenidos con respecto al plomo y el cadmio se muestran en siguiente tabla.

Tabla 8. Contenidos de plomo y cadmio (mg/kg ss), en la estrata superficial de suelos del país. (González M.; 1997)

Valle (Región)	Plomo			Cadmio		
	Promedio	Min.	Máx.	Promedio	Min.	Máx.
	mg/kg ss			mg/kg ss		
Huasco (III)	14,6	10,0	25,0	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Elqui(IV)	30,6	5,0	66,0	<2,5	< 2,5	< 2,5
Limarí (IV)	33,0	2,0	57,0	<2,5	< 2,5	< 2,5
Ligua (V)	7,8	1,0	25,9	0,19	< 0,1	0,37
Aconcagua (V)	56,0	4,0	285,1	0,30	< 0,1	4,74
Puchuncaví(V)	53,2	3,3	311,5	0,91	< 0,1	5,13
Mapocho (RM)	28,7	8,2	66,4	1,02	< 1,0	2,90
Maipo (RM)	23,8	5,0	45,7	0,45	< 1,0	2,84
Cachapoal (VI)	25,7	10,0	95,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
Tinguiririca (VI)	19,8	100	42,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
Mataquito (VII)	18,0	5,3	26,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Maule (VII)	21,0	9,0	80,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Bio-Bio (VIII)	16,2	5,7	47,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
IX Región	22,9	7,5	79,2	< 1,0	< 1,0	< 1,0
X Región	19,6	11,0	45,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Simpson (XI)	15,0	3,8	42,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0

La tabla 8, muestra que en relación al plomo los contenidos totales promedios fluctuaron entre 8 y 56 mg/kg ss., con los valores más altos en los valles de Aconcagua y Puchuncaví, lo que se puede deber a la contaminación local producido por su proximidad a fundiciones de cobre. En el valle del Maipo, los contenidos máximos alcanzados se deben a la cercanía de una zona industrializada situada en Nos (San Bernardo), en donde funcionó una fábrica de baterías, pero por su escasa representación geográfica, no alcanza a influir sobre el promedio del valle.

En cuanto al cadmio, sus contenidos máximos totales se encuentran en la V Región, especialmente en los valles de Aconcagua y Puchuncaví (vecinos a fundiciones

de cobre), y la Región Metropolitana, en los valles del Maipo y del Mapocho. Hacia el norte y sur de estas zonas, el cadmio total se encontró en niveles bajos ó no detectables.

Como se ha mencionado anteriormente la extracción secuencial se utiliza para caracterizar la especiación química de los metales, y en base a éstos se presentan algunos estudios descritos a continuación.

i. Cadmio en suelo Encina y Loma Blanca.

Son suelos ubicados en la Región Metropolitana, comuna de Maipú. Su uso agrícola es de cultivos frutales, chacras, cereales y pastos. Ambos suelos han sido regados por décadas con aguas servidas no tratadas provenientes del Zanjón de la Aguada y se encuentran ubicados entre éste y el canal loma blanca, las muestras se obtuvieron en las parcelas Encina y Loma Blanca. El instrumento utilizado para la determinación de los metales fue un Espectrofotómetro de Absorción Atómica con llama (EAA). Para obtener las especies químicas en equilibrio de los componentes solubles presentes se utilizó el programa computacional GEOCHEM.

Tabla 9. Especiación química de cadmio en suelos Encina y Loma Blanca. (Foncea, 1990)

	Suelo Encina	Suelo Loma Blanca
pH	7,59	6,78
% carbono orgánico	1,71	2,19
CIC cmol/kg	35,8	22,0
Cd total mmol/kg	0,049 (nivel intermedio)	0,044 (nivel superficial)
Especies de Cd presentes	Cd^{+2} , CdSO_4 , CdCl^+ CdHCO_3^+	Cd^{+2} , CdSO_4 , CdCl^+ , CdHCO_3^+

Como muestra la tabla 9, el cadmio se presenta en cuatro especies Cd^{+2} , $CdCl^+$, $CdSO_4$, $CdHCO_3^+$, siendo la última la que se encuentra en menor porcentaje, y la especie de Cd^{+2} la que prevaleció en un mayor porcentaje, para ir disminuyendo en cantidad con $CdSO_4$ y por último $CdCl^+$. Se observó que las especies de cadmio cloradas son menos absorbidas que Cd^{+2} , la cantidad de especies cargadas de este metal permite interactuar tanto con el suelo como con especies vegetales, además existen evidencias de que algunos metales son más tóxicos para la biota en estado iónico libre que complejo.

ii. Cadmio en suelos Alofánicos.

El análisis lo realizaron en muestras de horizonte A de dos suelos alofánicos no cultivados, pertenecientes a las series Sta. Bárbara y Temuco. Se dividió en dos profundidades. Se midió en mg/kg suelo seco. Utilizaron el método de Tessier para su fraccionamiento químico.

Tabla 10. Fraccionamiento químico de cadmio en suelos Alofánicos. (Solis, 1997)

	Sta Bárbara	Temuco
pH	5,4	4,46
CIC cmol/kg	54,1	187,2
% CO	14,7	4,2
Cd total mg/kg	2,5	2,4
Intercambiable (ppm)	0,2	0
Unida a carbonato (ppm)	0	0
Reducible (ppm)	0,5	0,4
Oxidable (ppm)	0	0
Residual (ppm)	0,8	1,2

Según lo indicado en la tabla 10, referente a la fracción oxidable y unida a carbonato, no se presenta cadmio, por lo que se podría esperar que en estos suelos con pH ácido (entre 4 y 5) y con medio oxidante, no se han de presentar especies de cadmio biodisponibles. En cuanto a la fracción reducible, estos suelos presentan una cierta cantidad de cadmio a los mismos valores de pH, pero se podría esperar que a una modificación de tipo redox, como pasar de un ambiente oxidante a un ambiente reductor, liberaría este metal considerado tóxico para la flora y la fauna, esto se agravaría con el hecho de que también existe cadmio en la fracción intercambiable, particularmente para el suelo Sta. Bárbara. El suelo Temuco no presenta fracción intercambiable por lo que no presenta cadmio de forma biodisponible para las plantas. Por lo tanto, el cadmio en éste suelo y bajo las condiciones químicas que presenta, no representa un riesgo tóxico, al no encontrarse de forma biodisponible.

5.2 Estudios en aguas, sedimentos y ciertos alimentos.

A lo largo del país se presentan diversas actividades en el sector costero marino, los cuales debido a sus procesos ó materias primas pueden llegar a presentar cadmio y plomo, pudiendo afectar al medio ambiente y al ser humano. Estas actividades se basan principalmente en la minería, que debido a la extracción y refinación de minerales existen tranques de relaves, cuyos residuos son descargados al mar a través de emisarios submarinos, ó a través de cursos de aguas naturales. También se destaca la fuga de polvos ó partículas de mineral, tanto a la atmósfera y agua, provocados por la faena de carga de minerales a los buques realizada en los puertos de la zona norte del país. Otro tipo de actividades contaminantes son las provocadas por las descargas de aguas al mar

producto de las centrales termoeléctricas. En el sur del país se puede mencionar las actividades industriales de papel y celulosa, petróleo y gas natural.

El estudio de los metales trazas en el medio ambiente marino ha adquirido considerable importancia en la última década en Chile. En base a esto, existen diversos estudios que se han realizado, los que muestran el comportamiento de estos metales en éstos sistemas, además de ciertos alimentos como mejillones; los cuales se describen a continuación.

i. Aguas de la Zona Central de Chile.

Este estudio analizó los ríos Tinguiririca y Cachapoal ubicados en VI región, además del río Mapocho y el Canal Zanjón de la Aguada, los cuales cruzan la ciudad de Santiago, los que recogen aguas servidas, domésticas e industriales. Estas aguas son utilizadas para regar terrenos cultivados.

Tabla 11. Resumen de especies presentes en Aguas de la Zona Central de Chile. (Soto; 1991)

	río Tinguiririca	río Mapocho	río Cachapoal	Zanjón de la aguada
Especies de Cadmio presentes	Cd^{+2} , $CdSO_4$ Encontrado en fracción particulada	Cd^{+2} $CdSO_4$ $CdCO_3$ $CdCl^+$ Fracción particulada	Cd^{+2} $CdSO_4$ $CdCl^+$ Encontrado en fracción soluble	Cd^{+2} $CdSO_4$ $CdCO_3$ $CdCl^+$ Fracción soluble
Especies de Plomo presentes	Pb^{+2} , $PbCO_3$ $PbHCO_3$ Encontrado en fracción particulada		$PbCO_3$ $PbOH^+$ Encontrado en la fracción soluble.	

pH	7,8	7,7	8,3	8,2
Demanda Química de Oxígeno mg/L	6,05	126,30	12,90	443,90
Conductividad S/m	360	155	680	205
Cadmio total ug/L	7,12	3,37	5,37	2,78
Plomo total ug/L	44,10	50,75	10,60	92,00

Los resultados de la tabla 11, muestran que tanto cadmio y plomo en todos los cuerpos de agua, se encuentran presentes bajo los niveles máximos permitidos para aguas de riego (plomo 5 mg/L y cadmio 0,01 mg/L). Sin embargo, la especiación química de cadmio indica que está presente en la forma de especies cargadas, por lo tanto está más fácilmente biodisponible, presentándose más concentrado en los ríos Cachapoal y Tinguiririca, siendo en el primero donde se encuentra todo el cadmio en forma soluble, y en el segundo se encuentra en gran cantidad como fracción particulada. Como especie cargada se encuentra la forma iónica libre y especie clorada, esta última no se encuentra en las aguas del río Tinguiririca, pero sí está presente en forma neutra como especie carbonatada tanto en el río Mapocho como en el Zanjón de la Aguada. La especie sulfatada se encuentra en todos los cuerpos de agua.

El plomo soluble se encuentra los ríos Cachapoal y Tinguiririca, se presenta principalmente en forma de carbonato no cargado, y como especie iónica libre solamente en el río Tinguiririca, siendo en éste encontrado el mayor porcentaje de especie bicarbonato positivamente cargado, mientras que en el río Cachapoal se encuentra la especie hidroxilada cargada positivamente.

ii. Otros estudios relacionados.

En el año 1992 se realizó un estudio sobre los contenidos de cadmio, plomo y otros metales en aguas, sedimentos y *Aulacomya ater* (cholga) de una concesión de cultivo de Lirquén, en la Bahía de Concepción. Los resultados mostraron una acumulación de los metales en sedimentos y tejidos de *A. ater*, dando como resultado de que la acumulación de plomo fue mayor que la del cadmio en sedimentos, pero la cinética de acumulación de cadmio en tejidos de *A. ater* es mayor que la de plomo. Cabe destacar que la concentración de cadmio en agua fue mayor en la época de primavera, coincidiendo con el periodo de surgencia (septiembre-octubre). Éste cadmio y plomo medido en la superficie de las aguas, sedimentos y cholgas, se analizaron por voltametría de redisolución anódica (ASV).

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

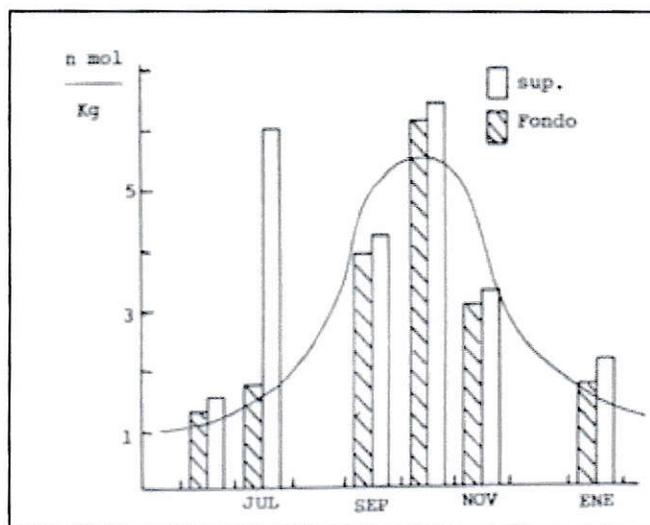


Figura 5. Concentración de cadmio en agua de la bahía de Concepción. Comparación entre superficie y fondo. (Fernández y col; 1992)

De la figura 5, se observa que en el mes de Julio la concentración de cadmio en la superficie es por lo menos tres veces mayor que la presente en el fondo, esta diferencia puede ser por aporte desde la atmósfera y las lluvias que favorecen esta concentración en la superficie del agua, siendo su principal fuente el centro industrial Concepción- Talcahuano.

Tabla 12. Rango de concentración de metales en sedimentos secos (moles x kg 10⁵). (Fernández y col; 1992)

Metal	Junio	Julio	Sept.	Octubre	Nov.	Enero
Cadmio	0,04 / 0,05	0,16/0,20	0,15/0,24	0,06/0,07	0,20/0,31	0,36/0,44
Plomo	0,56/0,77	3,17/4,20	2,53/2,70	2,68/3,19	3,81/4,54	3,43/4,18

Los valores de la tabla 12, en los sedimentos secos comparados con sus concentraciones en las aguas, indican que los sedimentos presentan una franca acumulación, por lo que actuaría como una trampa para estos metales, siendo las concentraciones de plomo mayores a las de cadmio.

Tabla 13. Rango de concentración de metales en cholgas (moles x kg10⁵). (Fernández y col; 1992)

Metal	Junio	Julio	Sept.	Octubre	Nov.	Enero
Cadmio	1,8/2,3	1,3/1,8	2,2/2,4	4,0/4,3	2,1/2,2	2,6/6,8
Plomo	1,0/2,3	1,0/1,7	0,6/1,0	1,0/1,1	1,1/2,8	3,7/3,7

En cuanto a las cholgas, mostrado en la tabla 13, estos metales presentan concentraciones superiores (3 a 4 órdenes de magnitud) a su valor en agua, siendo el cadmio el que se presenta mayor bioacumulación que el plomo. Se destaca que estos

valores se hallan dentro de los límites tolerables establecidos (1 mg/kg peso húmedo). La variación de los factores de concentración con la estacionalidad muestra rangos más menos constantes con respecto al plomo, para el cadmio se observa una disminución en el periodo de circulación estuarina (primavera). Esto se explica debido a, que las mínimas concentraciones de oxígeno, durante la surgencia, provocan la muerte y sedimentación del fito y plancton, liberando metales y por ende su elevación en concentración en sedimentos. En cuanto al plomo sus concentraciones pueden aumentar en aguas de fondo y sedimento, esto lo puede provocar el viento sur imperante en el inicio de la primavera que arrastra partículas desde los centros poblados, como Penco, Talcahuano y Concepción, asociados a la combustión de gasolina y transporte atmosférico.

Otro estudio realizó el análisis de dos tipos de mejillones: la Navajuela y la Almeja Chilena. Se determinó el contenido de, mediante espectroscopia absorción atómica, los metales en el mejillón en estado natural y en su estado en conserva, lo que permitió comparar estos valores y poder determinar si el contenido de los metales es una característica del mejillón o del proceso de enlatado. Cabe destacar que el contenido de los metales en ambos mejillones no muestra ninguna diferencia significativa con el tamaño de la muestra, como se puede apreciar en la Tabla 14.

Tabla 14. Concentración ($\mu\text{g/g}$) de plomo y cadmio en mejillones frescos en diferentes estaciones de muestreo. (Pinochet, H. y col.; 1992)

Especie	Área	Tamaño	Cadmio	Plomo
Navajuela Chilena <i>Tagehus dombeii</i>	Bahía Corral	Pequeño	$3,6 \pm 0,5$	$0,5 \pm 0,1$
		Mediano	$3,6 \pm 0,6$	$0,5 \pm 0,1$
		Grande	$4,0 \pm 0,6$	$0,4 \pm 0,1$
	Golfo de Arauco	Pequeño	$4,4 \pm 0,9$	$0,18 \pm 0,04$
		Mediano	$4,5 \pm 0,6$	$0,21 \pm 0,04$
		Grande	5 ± 1	$0,16 \pm 0,05$
Almeja Chilena <i>Semelle Sólida</i>	Golfo de Ancud	Pequeña	$3,2 \pm 0,2$	$0,09 \pm 0,04$
		Mediana	$4,5 \pm 0,7$	$0,23 \pm 0,05$
		Grande	5 ± 1	$0,19 \pm 0,06$
	Bahía de Corral	Todos tamaños	$0,9 \pm 0,1$	$0,29 \pm 0,05$

Según la tabla 14, en cuanto a la influencia de la ubicación geográfica, el contenido de cadmio es menor en la Bahía de Corral en comparación con los niveles encontrados para Navajuela Chilena en el Golfo de Arauco. En cuanto a la Almeja Chilena se encuentra una diferencia significativa en la concentración de cadmio para ambas áreas muestreadas. El mayor contenido de cadmio presente en Golfo de Arauco se debe principalmente a la contaminación de aguas y sedimentos provenientes de San Vicente y Concepción, además de las descargas industriales y fluviales del río Biobío.

El mayor contenido de plomo encontrado principalmente en la Bahía de Corral, en ambos mejillones, se puede deber principalmente al hecho de que el sitio de muestreo se encuentra en la desembocadura de un río, utilizado regularmente para la pesca y el transporte de barcos que utilizan como combustible petróleo con plomo, es así como también este río recibe vertidos industriales y domésticos de la ciudad de Valdivia.

La tabla 5, descrita a continuación, muestra un listado de empresas que funden plomo, esta muestra que en el año 1998 eran reconocidas formalmente en la región Metropolitana 20 empresas de este tipo, a lo que al año 2009 de estas mismas solo siguen funcionando 6. Se debe tener en cuenta al evaluar, si lo corresponde, cuáles fueron las causas o condiciones en las que estas 14 empresas dejaron de funcionar, como así evaluar también en qué estado quedaron sus instalaciones, ya que podrían ser un sitio potencialmente contaminado por este metal, afectando así a la población y medio ambiente cercano a estas.

A su vez se encontró un alto contenido de cadmio en las conservas con estos mejillones, lo que llevó a la sospecha de que ciertos tejidos de los mejillones son los que acumulan los metales pesados, por lo que algunas industrias en Chile decidieron excluir ciertos tejidos en sus productos. Los resultados de los estudios demostraron una clara reducción del contenido de cadmio y plomo en los mejillones a los cuales se les extrajo los tejidos viscerales y manto. La contaminación producida por estos metales pesados se asocia principalmente por la ingesta de las partículas en suspensión en la columna de agua, el cual es ingerido por los moluscos durante su proceso de alimentación. Otra forma de estudiar la contaminación de estos metales fue mediante la verificación de que si éstos eran incorporados a los mejillones durante los procesos industriales de enlatado, con respecto a esto se comprobó que no hay incorporación durante el proceso industrial. Cabe destacar que en todos los moluscos ya sea fresco o en conservas, el contenido de metales estuvo siempre por debajo de los niveles permitidos establecidos para productos pesqueros en conserva. (España = Cd: 1 mg/L y Pb: 5 mg/L)

5.3 Estudios en ambiente atmosférico.

Para el estudio de los metales pesados, es necesario entender ciertos conceptos sobre el substrato en el cual se encuentran dichos elementos en el aire. En el aire se pueden distinguir dos grandes tipos de contaminantes: los gases, cualquiera sea su naturaleza química (orgánica o inorgánica) y el material particulado suspendido, denominado también aerosoles atmosféricos o partículas. Cabe destacar que los metales pesados se encuentran principalmente en el material particulado. (Préndez; 1994)

Los aerosoles atmosféricos se presentan en una amplia gama de tamaños, formas y composición química. Con respecto al tamaño, presentan diámetros que se encuentran entre los 100 μm (aerosoles visibles) y 0,001 μm (aerosoles microscópicos). Según el impacto que posee el material particulado sobre el cuerpo humano, se puede clasificar en dos grandes grupos, aquel material con diámetro menor a 10 μm , correspondiente a la fracción parcialmente respirable, llamada PM 10; y aquella con diámetro menor a 2,5 μm , completamente respirable, llamado PM 2,5.

Un problema grave para poder evaluar el impacto de los metales pesados contenidos en los aerosoles, es la falta de normativa que oriente al respecto de las concentraciones máximas permitidas, expresadas en normas primarias y secundarias. Hoy en día al respecto, existe sólo la norma de calidad primaria para el plomo en aire, lo que no ocurre para el caso del cadmio. (Griño; 2006)

Entre los años 1997-1999 se realizaron estudios sobre el plomo en aire en diversas regiones a lo largo del país. Los resultados se describen a continuación.

XV Región de Arica y Parinacota. El monitoreo se realizó en tres estaciones de Arica; una en el casino municipal de Arica (A), otra en sector Villa Santa María (B) y la zona denominada Cerro Chuño (C), próxima al sitio Promel. Los resultados se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 15. Concentración media mensual de plomo medida en Arica Dic. 1998 a Enero 1999 (ng/m³). (Urrutia; 2003)

Estación	Conc. media	Conc. Máxima	Conc. Mínima
A – PTS	81,5	264,1	24,7
A – PM10	22,7	44,2	9,4
B – PM10	53,9	99	4
C – PM10	16,6	29,8	3,5

De la tabla 15, se desprende que debido a que las mayores concentraciones se presentan en PTS mayores a 10 µm, indica la presencia de una fuente puntual de plomo, ya que las pertenecientes a PM 10 son características de las fuentes móviles. Para este caso se tiene el antecedente de la presencia del acopio de concentrado de plomo (Promel).

I Región de Tarapacá: en Iquique se realizó un estudio similar bajo cinco estaciones de estudio, incluyendo aparte del PM 10 al PM 2,5. Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 16. Concentración media de plomo en PM 10 y PM 2,5 en Iquique 1997-1998 (ng/m³). (Urrutia; 2003)

Estación	PM 10 (µg/m ³)	PM 2,5 (µg/m ³)	Conc. Media	Conc. Máxima	Conc. Mínima
1	87,1	-	29,6	62,3	2,0
2	72,8	-	138,1	755,5	15,2
3	144,6	-	25,2	63,8	9,8
4	53,0	-	20,0	37,3	8,2
5	63,8	-	150,7	349,6	45,4
5	-	24,4	117,3	276,6	33,6

Se aprecia en la tabla 16, que la concentración media de plomo en el aire se encuentra bajo el valor establecido por la norma de calidad primaria para el plomo en aire (500 ng/m^3) para todas las estaciones de muestreo.

II región de Antofagasta: las estaciones están localizadas en la Cuarta Compañía de Bomberos de Antofagasta (estación A) en la que se midió PTS y PM 10 (esta se encuentra próxima al sitios de embarque de concentrados de plomo); en el Consultorio Oriente (estación B); y la tercera en el Consultorio Cautín (estación C), monitoreado solo PM 10 para estas últimas. Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 17. Concentración media mensual de plomo en estaciones de monitoreo en Antofagasta, de Enero a Febrero 1999 (ng /m^3). (Urrutia; 2003)

Estación	Conc. Media	Conc. Máxima	Conc. Mínima
A – PTS	255,8	690,5	19,7
A – PM10	66,4	149,9	31,6
B – PM10	81,7	667,5	2,4
C – PM10	35,7	277,3	8

Se puede desprender de la tabla 17, que las concentraciones en la estación A, es la que presenta una mayor concentración máxima de plomo, esto se puede deber a la presencia en Antofagasta de un acopio de concentrados de plomo, lo que influenciaría la presencia de éste en el aire.

V región de Valparaíso. Uno de los estudios del plomo en aire se basa en datos obtenidos de ocho estaciones de monitoreo, entre los años 1993-1994. Esta evaluación

corresponde a un área mixta con antecedentes para un sector urbano y otro rural. En estas concentraciones se evaluó en PM 10. Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 18. Concentración media mensual de plomo en PM 10 en la V Región (ng/m³). (Urrutia; 2003)

Lugar	Conc. Media	Conc. Máxima	Conc. Mínima
Concón	530	1.200	100
La Cruz	330	940	90
Los Maitenes	2.420	5.750	380
Nogales	350	1.000	110
Rungue	220	360	120
Sur	1.380	6.920	160
Viña del Mar	390	790	160
Valparaíso	1.020	2.700	280

Los resultados de la tabla 18 son, en algunos casos altos y reflejan la incidencia de una o más fuentes emisoras como en las Estaciones Maitenes, Sur y Valparaíso, en las dos primeras participa una fuente fija (zona industrial de Ventanas), en cambio, en la última lo hacen mayoritariamente las fuentes móviles.

VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Aquí se muestra parte del "Estudio de la calidad del aire en regiones urbano-industrial de Chile" realizado por CONAMA y la Agencia Suiza para el Desarrollo, en los años 1997-1998, el cual entrega resultados de concentraciones de plomo medidas para PM 10 en cinco lugares de la ciudad de Rancagua. Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 19. Concentración media de plomo en PM 10 y PM 2,5 en Rancagua 1997-1998 (ng/m³). (Urrutia; 2003)

Estación	PM 10 (µg/m ³)	PM 2,5 (µg/m ³)	Conc. Media	Conc. Máxima	Conc. Mínima
1	79,6	-	253,4	994,2	53,2
2	119,9	-	236,4	745,6	75,5
3	74,5	-	202,0	556,7	51,4
4	86,8	-	275,0	910,8	82,0
5	73,2	-	331,3	1.436,5	107,0
5	-	42,7	290,8	1.047,1	76,2

De la tabla 19, se desprende que esta ciudad podría presentar problemas por contaminación con plomo, especialmente en el sector central de la ciudad de Rancagua (estación 5), siendo el valor máximo obtenido en esta zona con una concentración media de 331,3 ng/m³.

VIII Región del Biobío. Se realizaron mediciones en la ciudad de Concepción en el año 1999, monitoreando PM 10, en cuatro estaciones: Servicio de Salud de Concepción (estación A); Consultorio Víctor Manuel Fernández (estación B); Escuela Almirante Williams Rebolledo (estación C) y Escuela Gran Bretaña (estación D). Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 20. Concentración media mensual de plomo en PM 10, en Concepción, 1999. (ng/m³). (Urrutia; 2003)

Estación	Conc. Media	Conc. Máxima	Conc. Mínima
A	13,6	23,6	3,7
B	15,3	33	3,7
C	15,5	48,4	6
D	15,8	25,5	3,6

De la tabla 20, es posible inferir que las concentraciones medias se encuentran muy por bajo el nivel que exige la norma de calidad primaria para el plomo en aire.

IX Región de la Araucanía. Para la ciudad de Temuco se presenta información, por medio del “Estudio de la calidad del aire en regiones urbano-industriales de Chile”. Los resultados obtenidos se muestran a continuación. Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 21. Concentración media de plomo en PM 10 y PM 2,5 por estación en Temuco 1997-1998 (ng/m^3). (Urrutia; 2003)

Estación	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Conc. Media	Conc. Máxima	Conc. Mínima
1	64,1	-	139,3	345,7	39,6
2	72,1	-	103,6	208,8	23,7
3	59,7	-	95,4	161,1	44,1
4	56,0	-	126,4	212,2	46,5
5	66,9	-	310,1	592,7	96,6
5	-	34,9	251,5	504,8	79,4

De acuerdo a la tabla 21, Temuco tiene como principal fuente de emisiones de plomo al parque automotriz, por lo tanto, las concentraciones de plomo reflejan su influencia, al igual que el uso de leña para calefacción, demostrado en los valores de concentración máxima que sobrepasan la norma para este metal.

XIII Región Metropolitana. A continuación se muestra la concentración de plomo en muestras de aerosoles tomadas en 1998, resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 22. Concentración media de plomo en PM 10, Santiago invierno, 1998 (ng/m³). (Urrutia; 2003)

Estación	Conc. Media	Conc. Máxima	Conc. Mínima
Parque O'Higgins	396,5	1.410,3	34,7
Las Condes	128,29	437,2	45,8
Pudahuel	225,1	920,9	45,7
Peldehue	78,9	191,0	21,2
Talagante	52,5	113,7	22,4
Cuidad de Santiago*	250,6	1.410,3	45,7

* Considera a las estaciones monitoras instalas en el área urbana de Santiago, Estaciones del Parque O'Higgins; Las Condes y Pudahuel.

La tabla 22, muestra que en la mayoría de las estaciones de monitoreo, la concentración máxima sobrepasa de forma considerable lo establecido por la norma para este metal en aire, esto se debe a que de acuerdo a los años en que se obtuvieron estos datos corresponde al uso de gasolinas con plomo producto del parque automotriz de la ciudad de Santiago.

Con el fin de complementar lo anteriormente descrito para la Región Metropolitana, el siguiente estudio muestra la concentración total de los elementos entre los año 1997 a 2003 determinados en el material particulado de la Estación Cerrillos de la red MACAM, mostrando al plomo como elemento traza y al cadmio como elemento ultra taza. Los resultados se encuentran resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 23. Concentración de los elementos plomo y cadmio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el período 1997 a 2003. (Griño; 2006)

Elementos	Concentración total $\mu\text{g}/\text{m}^3$							
	Año	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Pb		0,958	0,828	0,490	0,199	0,097	0,098	0,079
Cd [$\cdot 10^{-2}$]		0,50	0,63	0,41	0,27	0,23	0,25	0,21

Las concentraciones de plomo, mostradas en la tabla 23, presentan claramente una disminución desde el año 1997-2003, lo que se refleja y estaría asociado a que una de las más importantes fuentes de emisión de este metal, gasolina con plomo, la que fue eliminada su distribución. Pero cabe destacar que existen otros tipos de fuentes de plomo como son, las industrias de pinturas, soldaduras, fundiciones de plomo y fábricas de baterías, algunas de las cuales están ubicadas en las cercanías de la estación Cerrillos.

Las concentraciones de cadmio también presentan una disminución en el tiempo, ya que el que proviene de la quema de combustibles fósiles como carbón y petróleo, ha disminuido.

VI. CONSIDERACIONES PARA EL MANEJO AMBIENTAL DEL PLOMO Y CADMIO EN CHILE.

Las alternativas que pueden adoptarse para el manejo ambiental de estos metales, podrían dirigirse a la prevención, la mitigación, el control y la corrección de los efectos nocivos, del plomo y cadmio, en la salud humana y el medio ambiente. Estos además, deberían de incluir sistemas de información ambiental, a fin de cumplir con la legislación ambiental y garantizar que se alcancen los estándares adquiridos en los Convenios Internacionales ratificados por el país respecto al tema.

6.1 Control de emisiones.

Existen métodos específicos para llevar a cabo una mejor y eficiente control de las emisiones de las fuentes de estos metales, éstos pueden ser:

1. Reducción del consumo de materias primas y productos que incluyen estos metales como impurezas. Esta puede ser utilizada como una alternativa preventiva con el fin de reducir las emisiones de los metales al medio ambiente. Como ejemplo, se hace referencia a la reducción de cadmio en fertilizantes fosfatados.
2. La sustitución ó eliminación de productos, procesos y prácticas que contienen estos metales ó la utilización de alternativos. Ejemplos utilizados en Europa se muestran en el ANEXO II. Siendo uno de los principales y más reconocidos, su eliminación y sustitución de estos metales en vehículos y aparatos eléctricos.

3. Controlar las emisiones de estos metales, utilizando tecnologías en el proceso de limpieza de gases, aguas residuales y residuos generales. Para el control de estas emisiones se requiere añadir tecnologías y modificaciones en sus procesos, tanto en su mantención y operación, pudiendo llegar a un programa de detección de fugas y reparación dependiendo del proceso industrial o metalúrgico.
4. Gestión de residuos que contienen plomo y cadmio, por medio de las etapas correspondientes como la identificación y caracterización de los metales; un adecuado almacenamiento, evitando así cualquier tipo de riesgo ambiental; recolección y transportarte; para continuar con su posterior tratamiento si es que lo llegara a necesitar, para así finalmente entregarles una disposición adecuada.

Existen importantes opciones para el tratamiento y la disposición de los residuos sólidos, en función de los tipos y características de los desechos en cuestión. Las prácticas de gestión de residuos cubren el reciclaje, incineración, tratamiento biológico, entre otros. Para esto hay que tener en cuenta el flujo global de los metales pesados de los residuos indicado en el ANEXO III.

6.2 Medidas de prevención y control.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) elaboró una serie de medidas de prevención y control, con respecto a los desechos con plomo y cadmio. Estas se mencionan a continuación:

Medidas Regulatoras.

Estas medidas se basan en prohibir que los productos que contienen éstos metales sean liberados directamente al medio ambiente como residuos. Para esto el objetivo es aplicar un medio eficaz de recolección, clasificación y tratamiento de éstos. Así como también la prohibición de los vertederos ilegales de desechos.

Es importante considerar la prohibición de descarga directa o indirecta de estos metales y sus productos a desagües ó cualquier sistema de tratamiento de aguas, como también la prohibición ó restricción del transporte transfronterizo de residuos, que contengan éstos y otros metales, como ocurre de forma particular, en los casos de Arica y Antofagasta. A su vez sería necesario poner en marcha una estrategia de gestión ambiental que incluya un seguimiento; a través de un control de las materias primas que los contienen, sus procesos productivos y los residuos que provocan; así como también por la aplicación de reglamentos ó normativas en base a su tratamiento ambientalmente responsable, considerando el grado de toxicidad que provocan al medio ambiente y la salud de las personas.

Medidas económicas.

En Chile la Ley de Bases General del Medio Ambiente, Ley N° 19300, incluye el principio “del que contamina paga”, lo que significa que el particular, que en la actualidad ó en el futuro contamina, debe incorporar en sus costos de producción todas las inversiones necesarias para evitarlas.

Información y medidas educativas.

La educación de las personas, por medio de la información adecuada de la toxicidad que estos metales provocan al medio ambiente y al hombre, permitirá crear conciencia ante una correcta eliminación y disposición de los productos que contienen estos metales. Es importante también proporcionar puntos de recolección accesibles para que las personas puedan entregar estos productos para su posterior gestión ambiental, promoviendo así una gestión responsable.

Como resumen y considerando el daño contaminante que pueden provocar estos metales en el aire, agua, suelo, alimentos y salud de la población, las principales medidas y estrategias, así como planes futuros nacionales para prevenir ó controlar las liberaciones y limitar su utilización y la exposición, se pueden basar en:

1. Fomentar la voluntad política para promover los cambios para una gestión ambientalmente racional de éstos.
2. Capacitar en el tema de la gestión ambientalmente adecuada de las sustancias y residuos peligrosos en todos los sectores de la sociedad.
3. Crear pautas de manejo de estos metales en todo su ciclo de vida, así como incentivos a la producción limpia y otras medidas.
4. Promover el desarrollo de inventarios nacionales para identificar las fuentes de liberación, pautas de producción, exportación e importación de estos metales.
5. Promover investigaciones sobre los impactos ambientales y los efectos en la salud de estos metales en aquellas zonas o actividades de mayor riesgo.

6. Reducir las fuentes puntuales de emisión.
7. Diseñar programas para la gestión ambientalmente adecuada en las actividades del sector informal.
8. Establecer estrategias para limitar la exposición a éstos metales en los grupos más vulnerables (niños, mujeres embarazadas, trabajadores y ancianos).
9. Educar y sensibilizar a la sociedad, empresarios y trabajadores sobre los riesgos para la salud de la exposición a éstos metales.

VII. NORMATIVA APLICABLE

La normativa aplicable a la gestión y control de estos metales deben incluir medidas que cubran todas las fases del ciclo de vida de los productos y procesos que los contienen, así como del control de las emisiones provenientes de las materias primas. Esto, con el objetivo de reducir, prevenir y controlar la liberación de ellos. Las iniciativas se agrupan de la siguiente manera:

1. Normas de Calidad Ambiental, especificando la concentración máxima aceptable de estos metales para los diferentes medios, como agua potable, aguas superficiales, aire, suelo, productos alimenticios.
2. Acciones y reglamentos ambientales de control para las fuentes que emiten estos metales al medio ambiente, promocionando el uso de mejoras en tecnologías disponibles para el tratamiento y eliminación de residuos.
3. Otros tipos de normativas, acciones y programas, como los relacionados con la exposición a estos metales en los lugares de trabajo, necesidades de información y presentación de informes sobre el uso y emisiones de estos en la industria, así como medidas de seguridad de los consumidores.

Como la contaminación por metales pesados puede provocar importantes efectos negativos a nivel local, nacional, regional y mundial, numerosas medidas han sido adoptadas tanto en Europa, América del Norte, como en otras regiones, logrando reducir y tomar conciencia sobre los usos y liberaciones de estos metales.

7.1 Acuerdos e instrumentos internacionales.

Los acuerdos e instrumentos internacionales exigen la aplicación de medidas específicas a los distintos países que los ratifican. Existen principalmente nueve acuerdos o instrumentos internacionales que contienen disposiciones relativas al plomo y cadmio, los cuales se describen a continuación.

Tabla 24. Acuerdos e instrumentos internacionales relativos a los metales.

Convenio sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a larga distancia y el Protocolo de Aarhus de 1998 sobre metales pesados, Convenio LRTAP.
Convenio para la Protección del Medio Marino del Atlántico Nordeste, Convenio OSPAR.
Convenio sobre la Protección del Medio Marino de la zona del mar Báltico, Convenio de Helsinki.
Convenio sobre Cooperación para la Protección y Uso Sostenible del río Danubio.
Convenio de Basilea, sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación.
Convenio de Róterdam, sobre el Consentimiento previo fundamentado aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional.
Acuerdo sobre la conservación de las aves acuáticas migratorias africano-euro asiático.
Convenio de Estocolmo, sobre contaminantes orgánicos persistentes.
SAICM, Enfoque estratégico para la gestión de los productos químicos a nivel internacional.

Dentro de éstos los convenios que Chile ha ratificado, se tiene:

- Convenio de Basilea, sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, 1989. Su objetivo es regular estrictamente los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y establece obligaciones para las partes a garantizar que esos desechos sean manejados y dispuestos de una manera ambientalmente racional. Ha publicado técnicas para la gestión ambientalmente racional de desechos de baterías de plomo, "Directrices técnicas para el reciclado y recuperación ambientalmente racional de metales y compuestos de metales" y "Directrices técnicas sobre tratamiento fisicoquímico y biológico de residuos peligrosos".

- Convenio de Róterdam, sobre el consentimiento fundamentado previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos a objeto de comercio internacional. Su objetivo es promover la responsabilidad compartida y esfuerzos de cooperación entre las partes en el 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 la utilización ecológicamente racional de los productos químicos peligrosos, facilitando el intercambio de información sobre sus características, estableciendo a nivel nacional toma de decisiones sobre el proceso de su importación y exportación, difundiendo estas decisiones a las partes. En la actualidad, el tetraetilo de plomo y tetrametilo de plomo se encuentran cubiertos por el Convenio de Róterdam.

- Convenio de Estocolmo, su fin es proteger la salud humana y el medio ambiente de los contaminantes orgánicos persistentes, COP. En él se establecen medidas para la eliminación de la producción y uso de sustancias químicas tóxicas, persistentes y

bioacumulables en los organismos, que causan diversos efectos negativos en la salud humana y en el ambiente. Al adoptar este convenio Chile ha desarrollado un Plan Nacional de Implementación para la Gestión de los Contaminantes Orgánicos Persistentes (PNI).

- SAICM, Enfoque estratégico para la gestión de los productos químicos a nivel internacional. Es un sistema marco internacional para la formulación de políticas destinadas a fomentar la gestión racional de sustancias químicas, cuyo objetivo principal es lograr la gestión racional de los productos químicos a través de todo su ciclo de vida, de modo que las sustancias químicas se usen y produzcan en formas conducentes a minimizar los efectos adversos significativos para la salud humana y el medio ambiente. SAICM se ocupa no sólo de las sustancias químicas sintéticas, sino también metales tóxicos, como el plomo, el cadmio y el mercurio.

Aparte de los mencionados anteriormente existen varias organizaciones y programas internacionales, dedicados a la gestión ambiental mediante acciones destinadas a combatir los efectos nocivos de los metales y otros contaminantes en la salud humana y el medio ambiente, estos se encuentran descritos en el ANEXO IV.

7.2 Normativas aplicadas en Chile.

Chile posee normativas variadas que son aplicables a estos metales en los distintos escenarios donde se pueden encontrar. Las cuales se describen a continuación:

1. Ley de Bases Generales del Medio Ambiente 19300; de acuerdo con su título II, párrafo 2, artículo 10, letra ñ) “ Producción, almacenamiento, transporte, disposición o

reutilización habituales de sustancias tóxicas, explosivas, radioactivas, inflamables, corrosivas o reactivas”; por lo que deben ingresar al sistema de evaluación de impacto ambiental cualquier proyecto relacionado con estos metales.

2. D.S. N°148, “Reglamento Sanitario Sobre Manejo de Residuos Peligrosos” del Ministerio de Salud. Establece los requisitos mínimos de características de los contenedores e infraestructura, clasificación según características tales como corrosividad, toxicidad, etc.; así como también un listado de incompatibilidades de sustancias químicas.

3. D.S. N°298/94 “Reglamenta el Transporte de Cargas Peligrosas por Calles y Caminos”, del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones. De acuerdo con el artículo 1: “ el presente reglamento establece las condiciones, normas y procedimientos aplicables al transporte de carga, por calles y caminos, de sustancias o productos que por sus características, sean peligrosas o representen riesgos para la salud de las personas, para la seguridad pública o el medio ambiente.

4. D.S. N°594/99 “Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas de los Lugares de Trabajo”, del Ministerio de Salud, establece las normas mínimas requeridas para proteger la salud del trabajador, indicando las condiciones de almacenamiento, infraestructura y herramientas de protección para el trabajador. Se establecen los siguientes valores: plomo, polvos y humos inorgánicos, expresado como Pb 0,12 mg/m³; y para cadmio, expresado como Cd 0,04 mg/m³. Y como límites de tolerancia biológica, serán los siguientes, para el plomo en Sangre 40 ug/100 ml; y para el cadmio en orina 10 ug/g.

5. D.S N°90/00 del MINSEGPRES “Reglamento que regula los contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales”. Estableciendo valores característicos para el cadmio de 0,01 mg/L y para el plomo de 0,2 mg/L; y estableciendo como carga contaminante media diaria (equiv. 100 hab. /día) para cadmio de 0,16 g/d y para plomo 3,2 g/d.

6. D.S. N°609/98, del MOP; “Norma de Emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillados. Establece la cantidad máxima de contaminante permitida para los residuos industriales líquidos, descargados por los establecimientos industriales a los servicios públicos de recolección de aguas servidas, de tipo unitario o separado. Estableciendo valores para cadmio de 0,01 mg/L y para plomo de 0,2 mg/L; y estableciendo como carga contaminante media diaria (equiv. 100 hab. /día) para cadmio de 0,16 g/d y para plomo 3,2 g/d.

7. D.S. N° 138/05 del Ministerio de Salud, establece la obligación de entregar los antecedentes necesarios para estimar las emisiones de contaminantes atmosféricos de los siguientes rubros, actividades o tipos de fuentes: calderas generadoras de vapor y/o agua caliente; producción de celulosa; fundiciones primarias y secundarias; centrales termoeléctricas; producción de cemento, cal o yeso; producción de vidrio; producción de cerámica; siderurgia; petroquímica, asfaltos y equipos electrógenos.

8. NCh 409/1. Of 2005, establece los requisitos y parámetros químicos básicos para el agua potable. Estableciendo para el plomo de 0,05 mg/L y para el cadmio de 0,01 mg/L.

9. NCh 1333/87, del INN, establece la “Calidad del agua para diferentes Usos”. En donde establece los límites para el agua de riego, siendo para el plomo de 5 mg/L y para el cadmio de 0,01 mg/L.

10. D.S. N° 977/96, “Reglamento sanitario de los alimentos” en su Artículo 160, establece los elementos y sus límites máximos que no podrán sobrepasar en los alimentos señalados.

11. D.S. N° 374/97 del Ministerio de Salud, Fija Límite Máximo Permisible de plomo en Pinturas de uso infantil y escolar, específicamente temperas, acuarelas y productos similares, estos productos no podrán tener una concentración superior a 0,06% de plomo en peso, expresado en plomo metálico, determinando en base seca o contenido total no volátil.

12. D.S. 136/00 del MINSEGPRES, establece la “Norma de calidad primaria para plomo en aire”, la cual establece como concentración anual de plomo en aire de 0,5 ug/m³.

13. D.S 144/2000, establece el nivel de calidad ambiental para aguas marinas y estuarinas; teniendo un nivel para el plomo de 0,033 mg/L, y para el plomo de 0,11 mg/L. Teniendo en cuenta los siguiente niveles determinados como situación de emergencia ambiental, para cadmio se tiene 0,1 mg/L, y para plomo 0,36 mg/L.

14. Valores máximos de metales pesados permitidos en suelos agrícolas, lodos y compost en Chile. Como también los límites Holandeses y los aplicados por la Comisión Europea. Estos últimos se pueden tener como referencia para ser aplicados en nuestro país. (Informe: Criterios de calidad del suelo agrícola; 2005.)

Tabla 25. Concentración máx. permitida de metales pesados totales en suelos agrícolas.

Zona	Elemento mg/kg	
	Plomo	Cadmio
Macrozona Norte pH > 6,5	75	2
Macrozona Norte pH < 6,5	50	1,25
Macrozona Sur pH > 5	50	2

Fuente: Norma Lodos NCh 2952 c-2004(INN, 2004).

Tabla 26. Contenido máx. de metales pesados totales permitidos en lodos aplicados en distintos suelos de Chile.

Metal	Suelos Amplitud frutal y/o forestal	Suelos degradados
	mg/kg	
Pb	300	400
Cd	8	40

Fuente: Norma Lodos NCh 2952 c-2004(INN, 2004)

Tabla 27. Contenido máximo permitido de metales pesados totales en compost de Chile.

Metal	Compost	Compost de lodo	Compost orgánico
	mg/kg		
Pb	100	300	50
Cd	2	8	1

Fuente: Norma Lodos NCh 2952 c-2004(INN, 2004)

Tabla 28. Estándares Holandeses para evaluar la contaminación de suelos, en términos de concentración total de metales.

Metal	Valor de referencia	Valor de intervención ¹
	mg/kg de suelo	
Pb	85	530
Cd	0,8	12

¹ Valor de intervención: indica contaminación severa de los suelos donde es necesario remediar. Estos valores son aplicados para suelos estándar.

Tabla 29. Límite máx. de metales pesados en el suelo, según la Ley Federal Alemana.

(European Comission, 2001)

Tipo de Ley		Pb	Cd
		mg/kg	
Ley de protección del suelo ¹	Suelo arcilloso (I)	100	1,5
	Suelo limoso (II)	70	1
	Suelo Arenoso (III)	40	0,4
Ordenanza de lodos ² suelos pH 5,5-7		100	1,5
LABO ³	Suelo arenoso	15	0,3
	Suelo limoso	50	0,3
	Suelo arcilloso	75	1

¹ BBoSchG/1999 (U.E. 2004); ² Ordenanza AbfKlärV/1992; ³ Valores de referencia para reciclar compost
valores más bajo para suelos arenosos debido a su vulnerabilidad

VIII. DISCUSIÓN

Como establece la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente, Ley N° 19300, en su artículo 1°, *“el derecho de vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección de la naturaleza y conservación del patrimonio ambiental...”*, hace poner atención sobre el uso indiscriminado de ciertos productos, sobre el mal manejo de residuos, el poco control de emisiones de contaminantes, entre otros, lo que genera incumplimientos normativos a lo establecido por esta Ley.

Basándose en este incumplimiento de Ley, y en relación al daño que estos metales pesados pueden provocar con su toxicidad a la salud humana y al medio ambiente, se pudo ver que existen varios vacíos con respecto a éstos mismos como:

- El escaso conocimiento, de la población en general, respecto a los efectos nocivos que causan el plomo y cadmio, tanto a salud humana como al medio ambiente, esto conlleva a la poca conciencia sobre el uso y manejo de productos que posean estos metales, así como también la posterior disposición de éstos como residuos.
- Lo anterior lleva a una mala disposición final de estos como residuos, pudiendo rescatarlos, si es que corresponde, con el fin de llevar al reciclaje de estos metales, permitiendo que no sigan acumulándose como desechos evitando su peligrosidad.
- Además existen otros tipos de vacíos, como los correspondientes a evaluaciones respecto al flujo de estos metales en los distintos sistemas ambientales.

Probablemente por la poca importancia e interés nacional que se le ha dado a estos metales, es difícil adquirir información y estudios actualizados sobre las emisiones o presencia de estos en el medio: atmosférico, acuático, terrestre e incluso en algunos alimentos, por lo que pueden presentar escasa influencia de los efectos negativos a lo largo del país tanto en el medio ambiente como en el ser humano.

Los análisis realizados por distintos autores en los diferentes medios, mostraron que es de importancia conocer las formas químicas en que se presentan los metales e identificar por medio de la extracción secuencial en que fracción predominan, pudiendo determinar su biodisponibilidad al medio ambiente y con esto evaluar a corto plazo el impacto ambiental que estos producen. Esto implicaría, que la determinación de la concentración total de estos metales, no necesariamente va a significar su total biodisponibilidad, ya que no todas las formas de un metal se consideran con igual impacto en el medio ambiente. Pero cabe destacar, que el contenido total no deja de ser importante, cuando se desea verificar el cumplimiento de las normativas para el control de la contaminación de estos.

La determinación de umbrales críticos de contaminantes, como por ejemplos de los metales pesados, es un tema relevante en nuestro país, estableciendo un criterio de valores rígidos de contaminantes. Pero se pudo ver, que al momento de analizar si los valores de estos metales sobrepasaban la normativa, en especial en suelos, en Chile no existe un reglamento que limite la cantidad de metales pesados que pueden soportar los suelos nacionales, por lo que solo se toman referencias internacionales, aunque es una medida efectiva, muchas veces la referencia internacional es mucho más estricta de lo que se podría aplicar a nivel nacional, por lo que es necesario que el país cuente con sus

propios valores. Esto se debe a que las condiciones de los suelos a lo largo del país son muy distintas considerando que es rico en minerales sobre todo en la zona norte, en comparación con otros países. Lo anterior requiere de una normativa con respecto a estos metales estudiados siempre considerando el impacto que presentan y las condiciones del suelo de acuerdo a la realidad nacional.

Probablemente la contaminación con estos metales no está presente en la misma magnitud en cada región del país, pero si hay sectores más vulnerables y expuestos como los que se encuentran en zonas de mayor industrialización y con actividad minera. Tal es el caso del plomo que debido a su alta contaminación y toxicidad manifestada en el norte del país, ha sido de importancia el estudio y gestión ambiental.

Es preciso considerar, que la existencia o no de iniciativas y legislación sobre estos metales en nuestro país, debe ser analizado en relación a los patrones de uso y sus emisiones al medio ambiente, y por ende la necesidad de abordar los riesgos específicos. Es decir, que no existe el desarrollo de una legislación global que abarque el ciclo de vida de estos metales, el que incluya a la producción, comercialización, uso de sus productos, emisiones y la eliminación de desechos, la que suele ser es más general que específica referente al plomo y cadmio.

En base a lo antes mencionado, se requiere dimensionarlo como una problemática medioambiental a nivel nacional, con la finalidad que las autoridades pertinentes evalúen, el riesgo que generan estos metales, permitiendo medidas de control, corrección, orientando a una mejor gestión ambiental, privilegiando un desarrollo sustentable a nivel país.

IX. CONCLUSIONES

De acuerdo a la información mostrada en este trabajo se evidencia que su objetivo principal fue cumplido, ya que se presentó la realidad a nivel nacional de la posible problemática ambiental de los metales plomo y cadmio.

En relación a los objetivos específicos planteados, se puede mencionar lo siguiente:

De acuerdo al primer objetivo planteado se evidenció que el comportamiento químico, del plomo y del cadmio en el medio ambiente, se ven alterados por diversos factores fisicoquímicos debido a las características del medio en el que se encuentran, siendo el pH y el potencial redox (entre otros), los que permitirían predecir las especies químicas, su asociación a los constituyentes del suelo y sedimentos, así como estimar su biodisponibilidad, movilidad y reactividad química.

En cuanto a los efectos que estos metales provocarían a la salud humana se mostró que presentan efectos nocivos importantes debido a la acumulación en distintos órganos del cuerpo, incluso considerándose a el cadmio como cancerígeno. A su vez se demostró que estos metales se encuentran en sectores industriales y en zonas aledañas a estas, como lo son el caso de Arica y Antofagasta (los que presentaron intoxicación severa de plomo).

El segundo objetivo planteado indica la identificación de las principales fuentes de estos metales. Como fuentes naturales, la presencia de ambos metales en el medio ambiente es considerada como minoritaria, comparado con los aportes generados de las fuentes antropogénicas. Se determinó que los productos que contienen estos metales en

el país hoy en día, corresponden al uso de baterías de plomo ácido, y en el caso del cadmio, en pilas de Ni-Cd.

Como posibles sitios contaminados se identificó que en distintas regiones del país existen yacimientos de zinc, donde el plomo como el cadmio se encuentran presentes como mena secundaria (en un pequeño porcentaje), siendo así la producción de ambos metales baja. Esto último ocurre por la integración en el país de métodos de reciclaje y refinamiento de productos con presencia de estos metales. Otro tipo de fuentes contaminantes se considera a las fundiciones de cobre, que contienen al plomo y al cadmio dentro de sus emisiones (material particulado), pudiendo considerar un posible sitio contaminado a sus zonas aledañas.

En relación a los diversos estudios mostrados presentados por distintos autores, estos en su mayoría fueron desarrollados en zonas donde, de alguna u otra forma presentan un grado de contaminación. Por lo tanto, es de esperar que estos metales se encuentren biodisponibles de acuerdo a las condiciones fisicoquímicas del lugar.

El tercer objetivo planteaba el análisis y revisión de las normativas con respecto a estos metales, ya sea nacionales o internacionales. Se demostró que para una correcta gestión y control ambiental, se requieren de normativas que cubran el ciclo completo de los procesos y así como también a productos que los contienen. Nuestro país, en cuanto a su normativa, se limita a aspectos relacionados directamente a la población, como los diversos usos del agua (potable, regadío), lugares de trabajo, descarga de residuos líquidos a alcantarillado y aguas marinas, alimentos, aire, entre otros, existiendo vacíos legales, por ejemplo en suelos y sedimentos.

En cuanto a las normativas internacionales, estas muestran preocupación sobre la protección del medio en el que se aplican, como también sobre los límites físicos que alcanzan los contaminantes.

El cuarto objetivo propone analizar alternativas de prevención y control, del plomo y cadmio. Se mostró que existen métodos sobre el control de emisiones basadas principalmente en la reducción, sustitución o eliminación de los procesos que generan o de los productos que contengan plomo y cadmio. La utilización de estos métodos generaría una buena gestión de los residuos generados.

Las medidas analizadas para la prevención y control, requieren de la participación de todos los actores involucrados, por lo que una visión de conjunto, con sectores públicos y privados, y concientizados del cuidado del medio ambiente, permitiría que su crecimiento sea sustentable y beneficioso para todas las partes.

X. SUGERENCIAS

Nuestro país debería tener un mayor apoyo a nivel gubernamental y de las instituciones relacionadas con la temática ambiental, con el fin de proyectarse al resto de la comunidad creando conciencia para una mayor investigación por parte de personal capacitado para su estudio.

En cuanto a la remediación, en Chile la mayoría de las empresas sólo se preocupan del impacto medioambiental que provocan si existe una ley u organismo que las obligue, pocas son las que lo realizan voluntariamente. Por lo que debería tenerse en cuenta para estos metales la responsabilidad extendida del productor, lo que quiere decir que un productor o importador de un determinado producto responde por el manejo del mismo una vez que este se ha transformado en residuo.

Es necesario la realización de una adecuada capacitación a todos los integrantes de las industrias y/o similares relacionadas con estos metales, así como también al resto de la ciudadanía, entregando información y dando a conocer los riesgos a los que están expuestos, con el fin de generar conciencia en relación a los peligros latentes de la contaminación por estos metales.

Como ya se ha mencionado, es importante que existan estrategias de monitoreo y vigilancia sobre las emisiones y disposición final de estos metales, presentes en los procesos industriales o productos que los posean.

Considerando que quizás unos de los productos más utilizados a nivel cotidiano, son las pilas y baterías que poseen estos metales. Se sugiere como una alternativa de información y disposición adecuada de estos, un etiquetado que entregue la información necesaria para que el consumidor tenga conciencia de lo que está utilizando, este podría

poseer información en español, las precauciones que hay que tener, su procedencia, así como orientar hacia su disposición final.

Aunque, es muy complicado llevar a una disposición selectiva y una recuperación de componentes, es importante tenerlo en cuenta al momento de realizar una gestión adecuada de estos metales.

XI. REFERENCIAS

- Badillo German, J.Francisco; 1985. Curso básico de toxicología ambiental, Metepec, ECO. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos.
- Bermejo Barrera, Adela; 1982. El plomo, presencia y sus efectos. Métodos de análisis. Universidad de Santiago de Compostela.
- Burriel Marti; Fernando; 2000. Química Analítica Cualitativa.
- CONAMA, 2008. Política Nacional para la Gestión de Sitios con Presencia de Contaminantes.
- CONAMA/GTZ. *“Guía técnica sobre manejo de baterías de plomo ácido usadas”*
- Corey, Germán O.1987. Cadmio. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud.
- Corey, Germán O.1989. Plomo. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud.
- EPA. El medio ambiente y su salud: plomo.
<http://www.epa.gov/espanol/saludhispana/plomo.htm>
- Fernández, Eduardo; Hernández, Sergio; Suazo, Juan; 1992. Presencia de Cd en la bahía de Concepción: ¿Origen antropogénico?. En proyecto FONDECYT N° 91-0821.
- Foncea Carneyro, Marilyn J.; 1990. Seminario de Título: “Metales Pesados en suelos y aguas: especiación química”; Departamento de Química y Farmacia; Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas; Universidad de Chile.

- González Martineaux, Sergio; 1994a. Geoquímica de metales pesados en Chile. VI Simposio sobre contaminación ambiental “Impacto Ambiental de metales pesados en Chile”; INIA-U. de Chile-INACAP; pp.: 10-29.
- González Martineaux, Sergio. 1997. Los Suelos y la Contaminación Ambiental: El caso de los Metales Pesados. Simiente Vol. 67 (1-2), Sociedad Agronomica de Chile. pp 56-64.
- González Martineaux, Sergio. 2000. Contaminación de suelos: los metales pesados. Boletín Sociedad Chilena de Ciencias del Suelo N° 14. Simposio Proyecto de Ley de Protección del Suelo. pp 42-59.
- Graña, Glenda; 2009. Seminario de Título: “Propuesta de alternativas para la gestión ambiental de los residuos de baterías de plomo-ácido”; Químico Ambiental; Facultad de Ciencias; Universidad de Chile.
- Griño Morales, Paulina; 2006. Seminario de Título: “Movilidad de elementos traza en material particulado PM 10 de la atmósfera de Santiago”; Departamento de Química; Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas; Universidad de Chile.
- Informe: Criterios de calidad del suelo agrícola (en revisión); 2005. http://www2.sag.gob.cl/Recursos-Naturales/criterios_calidad_suelos_agricolas
- López Santiago, F.; Ayala Caicedo, F.; 1995. Contaminación y depuración de suelos. Instituto Tecnológico Geominero de España.
- Midot, D.; Serrano, M.; Alarcón, B.; Lagny, P.; 1994. Evaluación preliminar del potencial de Pb-Zn de Chile. SERNAGEOMIN.
- Oyarzún M. Jorge; Collao R.; Ferraz C. 1991. Distribución regional de Cd, Bi,Co,Ni, Zn y Mo en menas cupríferas chilenas entre los 22° y 33° S. VI Congreso Geológico Chileno, Viña del Mar. pp 714-718. SERNAGEOMIN.
- Padilla P. Alex; 2006. “Examen del plomo y cadmio en Honduras”; Secretaria de recursos Naturales y Ambiente; Sub-secretaría del Ambiente; Centro de Estudios y Control de Contaminantes.

http://www.chem.unep.ch/Pb_and_Cd/SR/Files/Submission%20GOV/Submis_GOV_HND.pdf

- Pinochet, H.; De Gregori, I.; Delgado, D.; Gras, N.; Muñoz, L.; Bruhn, C.; Navarrete, G.; 1992. Cadmium, lead, copper and mercury levels in fresh and canned bivalve mussels *Tagelus dombeii* (Navajuela) and *Semelle sólida* (Almeja) from the Chilean coast. En proyecto FONDECYT N° 92-0715.
- Préndez, Margarita; 1994. Presencia de metales pesados en áreas urbanas de Chile. VI Simposio sobre contaminación ambiental “Impacto Ambiental de metales pesados en Chile”; INIA- U. de Chile- INACAP; pp. 30-44.
- Ramírez, Augusto; 2002. Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar la exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. Anales Facultad de Medicina, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, ISSN 1025-5583; pp. 51-64.
- Rovira, Jaime. Informe y diagnostico de la basura marina en Chile. Plan de Acción para la Protección del Medio Marino y Áreas Costeras del Pacífico Sudeste.
<http://www.cppsint.org/spanish/planaccion/Basura%20marina/Basura%20marina%20en%20Chile.pdf>
- Salgado Figueroa, Paola J.; 1998. Seminario de Título: “Distribución de formas químicas de metales pesados en suelos”; Departamento de Química; Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas; Universidad de Chile.
- Sepúlveda, Verónica; Vega, Jeannette; Delgado Iris; 2000. Exposición severa a plomo ambiental en una población infantil de Antofagasta Chile. Revista Médica de Chile v. 128 n.2 Santiago.
http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0034-98872000000200014&script=sci_arttext
- Solís Lazen, Nachla; 1997. Seminario de Título: “Formas químicas y movilidad de metales pesados en suelos Alopánicos”; Departamento de Química y Farmacia; Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas; Universidad de Chile.

- Soto Helo, Myriam M.; 1991. Seminario de Título: "Metales pesados en aguas de la zona central de Chile"; Departamento de Química y Farmacia; Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas; Universidad de Chile.
- Tapia Zuoloaga, Roberto; 1994. Toxicidad de metales pesados en seres humanos. VI Simposio sobre contaminación ambiental "Impacto Ambiental de metales pesados en Chile"; INIA- U. de Chile- INACAP; pp. 63-69.
- UNEP, United Nations Environment Programme. 2008a. Lead and Cadmium Activities. Reviews scientific information Pb & Cd. Draft final reviews of scientific information on lead.
http://www.chem.unep.ch/Pb_and_Cd/SR/Draft_final_reviews/Pb_Review/Final_UNEP_Lead_review_Nov_2008.doc
- UNEP, United Nations Environment Programme. 2008b. Lead and Cadmium Activities. Reviews scientific information Pb & Cd. Draft final reviews of scientific information on cadmium.
http://www.chem.unep.ch/Pb_and_Cd/SR/Draft_final_reviews/Cd_Review/Final_UNEP_Cadmium_review_Nov_2008.doc
- Urrutia Armijo, Andrea L.; 2003. Seminario de Título: "Propuesta de norma de calidad primaria de plomo en aire"; Departamento de Ingeniería Química; Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas; Universidad de Chile.

ANEXOS

ANEXO I. Aplicaciones identificadas, situación actual y posibles sustitutos del plomo y cadmio.

El plomo y el cadmio se utilizan para una amplia gama de aplicaciones y está presente en un número significativo de productos industriales en el comercio. Estos también pueden presentar algún tipo de sustituto prometedor los cuales pueden encontrarse disponibles o siendo utilizados, pero cabe destacar que algunos sustitutos pueden dañar de alguna forma la salud de las personas o al medio ambiente

Aplicaciones identificadas para el plomo, su grado de uso, alternativas y conveniencia.

Aplicación	Grado de uso	Alternativas	Conveniencia de la alternativa
Plomo Metálico			
Baterías	General (uso principal del plomo)	Baterías de Litio-ion-polimero u otros tipos.	+, cuesta 6 veces más pero dura 2-3 veces que la de plomo.
Cobertura de cables (subterráneos y submarinos)	General	PE/XLPE – Polietileno/plástico de polietileno ligado a cables de tierra de baja tensión hasta 24 kV. No hay alternativas para los cables para usos submarinos y de tierra para alto voltaje. El aluminio es descartado como alternativa debido a su alta resistencia interna.	=, Los costos de producción, tiempo de vida y calidad de se consideran iguales.
Techumbre	General (variación regional)	Muchas alternativas para el techado están disponibles. Se ha propuesto el acero como alternativa.	
Protección contra la corrosión en industria química	General	Acero inoxidable resistente al ácido	+
Plomo en vidriado	General (variación regional)	Sistemas alternativos incluyen zinc/estroncio y cristales de bismuto. Para algunos usos de cerámica vidriada decorada ningún sustituto es adecuado.	
Munición (perdigones, balas, etc)	General	Hierro, acero, wolframio, bismuto y aluminio usados como alternativas. En sí todos los metales no tóxicos con una densidad cercana podría ser apropiado.	+, aunque los costos dependen del sustituto.
Aleaciones de acero y de aluminio	General	Manufactura reforzada con aluminio, bismuto, selenio, telurio.	+, precios similares, podría costar más su fabricación.

Cojinetes hechos de aleaciones de plomo	General	El metal de antifricción se puede sustituir por bronce de aluminio y bronce sin aluminio de plomo.	
Compuestos de plomo			
Soldadura en materiales electrónicos	General, en proceso de sustitución en algunos países	Sistemas de aleación diferentes basados en SnAgCu, SnCu, SnAgBi, SnZn, SnAg, SnAgIn entre otros. SnAgCu parece ser la alternativa principal	+, menor precio.
Galvanización en caliente	General	Galvanizado sin plomo, con el uso de antimonio	=, disponible en el mercado
Peso como instrumentos de pesca y anclas	General	Equipo para pesca: plomo puede ser sustituido por hierro, aluminio, zinc, etc. Pesos de plomo sobre redes de arrastre pueden ser sustituidos por cadenas de hierro.	+, disponible en el mercado.
Contrapesos para vehículos, molinos de viento, etc.	General, restringido para vehículos en algunos países	Los pesos alternativos son de aluminio, zinc, acero, tungsteno, plástico (termoplasticos PP).	+, estos ya se están utilizando.
Revestimiento en tanques de gasolina	General	Acero galvanizado con revestimiento de níquel, aleación de níquel /zinc con una película de óxido de cromo, zinc cubierto de resina de epoxi	=, empresas Europeas utilizan tanques plásticos o de acero.
Quillas	General	Hierro usado como alternativa. La opción es en parte una compensación entre la velocidad y el precio. Quillas de hierro requieren más mantenimiento que quillas de plomo.	+, tanto hierro como de plomo estan en el mercado.
Tuberías y uniones para drenaje de agua.	No se usa en la mayoría de las nuevas instalaciones de edificios, pero esta presente en instalaciones antiguas.	Para el alcantarillado y tuberías de agua, alternativas incluyen el hierro, tubos de cobre y PVC. Para la corrosión, las alternativas incluyen el acero inoxidable resistente al ácido.	+, muchos países ya han sustituido.
Protector de la radiación (ropas, películas, etc)	General	El hormigón son considerados como alternativas	El plomo sigue dominando el mercado.
Tipos de impresión	Más menos eliminado por los cambios tecnológicos	No evaluado	
Aditivos de gasolina (tetraetil de plomo y tetrametil de plomo)	Eliminado en la mayoría de los países	Cambios en la refinería, en los componentes de la gasolina y su octanaje.	
Estabilizador de PVC	General	Estabilizadores de calcio/zinc	+
Pigmentos de pinturas	Prohibidos en algunos países	Muchas alternativas están disponibles sobre el mercado. En última instancia, la opción es una va en cuanto al color y costo, como la firmeza al clima, la estabilidad de torsión y el esplendor.	+

Cartillas inhibidoras de herrumbre	General	Fosfato de zinc u óxido de zinc combinado con óxido de hierro.	+
Como elemento deshidratador de barniz y pintura	Generalmente eliminados para algun tipo de pintura	Zirconio, basados en secado de pinturas están disponibles pero en general son pocas las alternativas.	=
Tubos de vidrio catódicos de televisores y monitores	En la actualidad esta siendo eliminado por mayor tecnología	Las alternativas son el incluir el circonio, el estroncio y el bario.	+
Otro usos en vidrio (vidrio óptico, vidrio de filtro, vidrio cristalino, los paneles de plasma, lámparas fluorescentes)	General	Dependen del uso: para tubos fluorescentes y bombillas, alternativas incluyen el estroncio, el bario, etc., estas son difíciles de tratar.	+
Porcelana, azulejos, cerámica, etc	General		
Cubierta de freno de automoviles (sulfato de plomo)	General – prohibido en algunos países,	Opción es el uso de grafito.	
Explosivos	General		
Fuegos artificiales	General - prohibido o restringido en algunos países		
Laboratorios de Química	General		

Aplicaciones identificadas para el cadmio, su grado de uso, alternativas y conveniencia.

Aplicacion	Grado de uso	Alternativas	Conveniencia
Baterías de NiCd, recargables.	Uso principal del cadmio	Hidruro de níquel, polímero de ion litio, etc.	+, aunque las alternativas sean más caras de producir, tienen ventajas ambientales y técnicas, como que la vida de batería es más larga.
Recubrimiento sobre hierro y acero.	Extendido en muchos países para usos que requieren un alto grado de seguridad o durabilidad como en industria aeroespacial, industria eléctrica.	Zinc, aluminio, níquel, plata, revestimiento de oro, etc. Dependiendo del uso.	
Aleaciones de cadmio - plata para soldar	Su uso ha disminuido.	Varias alternativas de soldaduras existen como soldaduras de Sn-Ag	+
Aleaciones de cadmio-cobre; y otras	Utilizado en algunos tipos de alambres y de aleación del cobre-cadmio y del cobre-cadmio-titanio para conductividad termal y conductividad eléctrica	Las alternativas dependen del uso: Las aleaciones Cu-Cd se pueden sustituir por el cobre puro. Las aleaciones Pb-Cd para las envolturas de cable se pueden sustituir por otros tipos de envolturas de cable como PE, envolturas de aluminio o envolturas normales de plomo.	=
Como escudo o barrera de seguridad en reactores nucleares	El cadmio, el boro, el carbón, el cobalto, la plata, el hafnio, el gadolinio, y el europio son la mayor parte de elementos comunes usados en barras de control p.ej. 80 % de plata + 15 % de indio + 5% de cadmio		
Estabilizadores de PVC	Eliminado en algunos países	Para los propósitos al aire libre y otros usos, las alternativas han sido hasta ahora estabilizadores basados en plomo o compuestos de aluminio.	-, probablemente más caro.
Pigmentos	Usados para colores opacos, pero eliminado en algunos países.	Muchas alternativas están disponibles en el mercado. Por ejemplo Vanadato de bismuto	+
AgCdO	Contactos electricos	AgSnO ₂ , AgNi	+
Semiconductores sensibles a la luz, fotodiodos infrarrojos de detectores y similares		GaAs, InGaAs, InSb, InAs, etc.	=
Celdas solares		El telurio de cadmio es usado en celdas de película delgada modernas basadas en CdTe, pero no en celdas tradicionales cristalinas. Otras alternativas son el galio indio, cobre, el dióxido de titanio etc.	=

ANEXO II. Recursos polimetálicos, con presencia de Pb y Zn, presentes en Chile.

Cuadro 1. Resumen de los recursos polimetálicos de la II Región, recopilados por SERNAGEOMIN, año 1991.

Región	Distritos	Minas	Mena	Expectativas
II	María Elena	Santa Ana	Ag (Pb,Zn,Cu)	S.I.
II	Puntillas	Galenosa	Ag (Pb)	S.I.
II	Cerro Boquete	Magallanes	Ag (Pb)	27.000 T por cada 100 m de profundidad
II	Cerro Boquete	Esperanza	Ag (Pb)	S.I.
II	Cachinal de la Sierra	Juana El soldado	Ag (Pb,Au,Zn,Cu)	80.000 T por cada 100 m de profundidad
II	Vaquillas Altas	Vaquillas	Ag Au (Zn,Cu)	cuerpo de baja ley y alto tonelaje en profundidad
II	Vaquillas Altas	Incahuasi	Ag (Pb)	S.I.
II	Sierra Juncal	Gloria	Ag (Au,Zn,Pb,Cu)	100.000 T por cada 100 m de profundidad
II	Mantos del Agua	Juana I	Ag (Pb)	S.I.
II	Mantos de Agua	Hidalgo	Ag (Pb)	S.I.
II	Sierra Esmeralda	Blanca Torres	Ag (Pb)	S.I.
II	Sierra Esmeralda	Paula o Pabla	Ag (Pb)	S.I.

(Pb): Mena secundaria; S.I.: Sin información

Cuadro 2. Resumen de los recursos polimetálicos de la III Región, recopilados por SERNAGEOMIN, año 1991.

Región	Distritos	Minas	Mena	Expectativas
III	Sierra Galena	Cariola	Pb, Ag, Zn, Ba	S.I.
III	Sierra Galena	Galena	Pb, Ag, Zn, Ba	S.I.
III	Sierra Galena	Lechuza	Pb, Ag, Zn, Ba	S.I.
III	La Jaula	La Jaula	Ag, Zn, Pb, Ba	Reservas: 290.000 T a 8,12% Pb+Zn
III	Las Cañas	Fortuna	Pb, Ag (Zn,Cu)	S.I.
III	Las Cañas	San Bartolo	Pb, Ag (Zn,Cu)	S.I.
III	Las Cañas	Cañas Norte	Pb, Ag (Zn, Cu, Ba)	S.I.
III	Plomiza	Plomiza	Ag, Pb, Zn	750.000 T por cada 100 m de profundidad
III	Pozo Seco	Porfía	Ba, Pb	S.I.

(Pb): Mena secundaria; S.I.: Sin información

Cuadro 3. Resumen de los recursos polimetálicos de la IV Región, recopilados por SERNAGEOMIN, año 1991.

Región	Distritos	Minas	Mena	Expectativas
IV	Las Galenas	Las Galenas	Pb (Ag,Zn)	S.I.
IV	Talcuna	Mina 21	Cu (Pb)	S.I.
IV	Talcuna	Ponderosa	Cu, Pb	S.I.
IV	El Gaucho	El Gaucho	Pb, Zn,Cu	108.000 T por cada 100 m de profundidad
IV	Corrida del Plomo	Variola	Cu, Ag (Pb, Zn)	225.000 T por cada 100 m de profundidad
IV	Corrida de Plomo	El Plomo	Pb, Ag, Cu (Zn)	S.I.
IV	Corrida de Plomo	La Higuera	Cu, Ag (Pb, Zn)	S.I.
IV	Corrida de Plomo	Luz del Pilar	Cu, Ag (Pb, Zn)	S.I.
IV	Condoriaco	Tesoro Escondido	Ag, Cu (Pb, Zn)	S.I.
IV	Condoriaco	Carpintero	Ag, Cu (Pb)	S.I.

IV	Condoriaco	Chile-Argentina	Ag (Pb,Zn)	S.I.
IV	Llimpo	El Durazno	Au, Cu (Pb,Zn)	S.I.
IV	Llimpo	El Mar	Au, Cu (Pb,Zn)	S.I.

(Pb): Mena secundaria; S.I.: Sin información

Cuadro 4. Resumen de los recursos polimetálicos de la V Región y región Metropolitana, recopilados por SERNAGEOMIN, año 1991.

Región	Distritos	Minas	Mena	Expectativas
V	Catemu	La Poza	Zn, Pb, Cu, Ag	S.I.
V	Catemu	Unión Restauradora	Zn, Pb, Cu, Ag	S.I.
V	Catemu	San Pedro Las Animas	Cu (Pb,Zn)	S.I.
V	Putendo	Bellavista	Cu, Au, Zn (Pb)	S.I.
R. Metropolitana	El Buey	El Buey	Zn, Pb, Cu	S.I.

(Pb): Mena secundaria; S.I.: Sin información

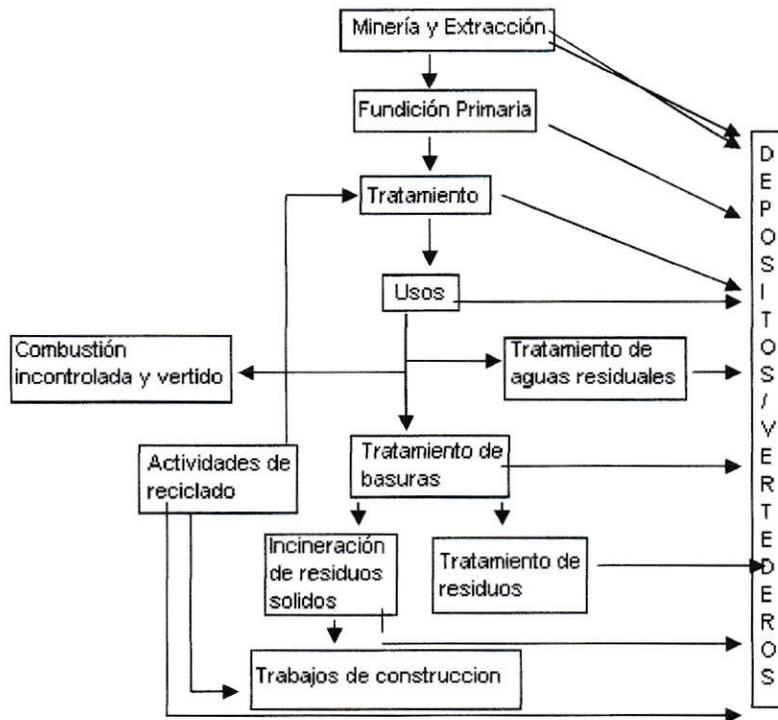
Cuadro 5. Resumen de los recursos polimetálicos de la XI Región, recopilados por SERNAGEOMIN, año 1991.

Región	Distritos	Minas	Mena	Expectativas
XI	Fachinal	La Poza Paulina	Pb, Zn, Ag	Recursos: 190.000 T a 1,9% Zn, 1% Pb
XI	Pto Cristal	Rosillo	Zn (Pb)	Producción estimada: 90.000 T
XI	Pto Cristal	Silva	Pb, Zn	Producción estimada: 250.000 T a 20% Pb, 20 % Zn.
XI	Pto. Sánchez	El Pelado	Pb, Zn (Cu, Ag)	Producción estimada: 13.000 T a 7% Zn, 2% Pb
XI	Pto. Sánchez	Alguita Sur	Pb, Zn	S.I.
XI	Lago Negro	Los Colorados	Fe (Pb, Zn, Cu)	S.I.
XI	Pto Guadal	Escondida	Cu, Pb, Zn	S.I.
XI	Pto Guadal	San Sebastián	Pb, Zn, Cu, Ag	S.I.

(Pb): Mena secundaria; S.I.: Sin información

ANEXO III. Ilustración esquemática del flujo general de los residuos de metales pesados.

Cabe señalar que en la práctica, cada paso en la figura puede derivar en varios pasos de menor importancia, y que las medidas relativas al tratamiento de aguas residuales, por ejemplo, no se indican en la figura. Tenga en cuenta que las emisiones de plomo y cadmio de los procesos de tratamiento para el medio ambiente no se muestran.



ANEXO IV. Organizaciones y programas internacionales.

La gestión ambiental realizada mediante acuerdos e instrumentos internacionales, forma una pequeña parte de diversas acciones destinadas a combatir los efectos nocivos de éstos y otros metales en la salud humana y el medio ambiente. Dentro de los cuales se mencionan:

- Agencia Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC); este es parte de la Organización Mundial de la Salud, OMS. Esta agencia, ha llegado a la evaluación de que los compuestos inorgánicos de plomo provocan efectos carcinógenos para los seres humanos, siendo los compuestos orgánicos de plomo clasificados como no carcinógenos.
- Organización Internacional del Trabajo (OIT); esta obliga la elaboración de una política nacional de seguridad para la utilización de productos químicos en ambientes de trabajo, adoptando sistemas de clasificación y etiquetado para todas estas sustancias, e introducir fichas de datos de seguridad.
- Programa Internacional sobre Seguridad Química (IPCS); es un programa de cooperación de la OMS, la OIT y el PNUMA para proporcionar la evaluación de riesgos causados por productos químicos a la salud humana y al medio ambiente.
- Organización Mundial de la Salud (OMS); su objetivo es alcanzar que todos los pueblos obtengan el grado más alto posible de salud. Se relaciona con los riesgos químicos, el cual se incluye en las actividades del Programa Internacional sobre Seguridad Química (IPCS), la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer IARC, el Foro Intergubernamental sobre Seguridad Química (FISQ) y el Programa Interinstitucional para el Manejo Adecuado de las Sustancias Químicas (IOMC). La OMS elabora normas internacionales sobre la calidad del agua, el aire y la salud humana en forma de directrices que se utilizan como base para la regulación y el establecimiento de normas, en países desarrollados y en vías de desarrollo en todo el mundo.
- La Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE); es una organización intergubernamental que reúne a 30 países miembros en un foro en el que los gobiernos pueden comparar experiencias, debatir cuestiones de interés, y buscar soluciones, así como acciones de cooperación. Chile forma parte de este grupo a partir de Enero de 2010.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA, coordina actividades relacionadas con el medio ambiente, asistiendo a los países en la implementación de políticas medioambientales adecuadas así como a fomentar el desarrollo sostenible.

- Programa de acción mundial para la protección del medio marino frente a actividades realizadas en tierra, PAM, tiene por objeto impedir la degradación del medio marino de las actividades realizadas en tierra, facilitando la realización de la obligación de los Estados de preservar y proteger el medio marino de metales pesados.
- Alianza para Vehículos y Combustibles Limpios (PCFV); esta es la principal iniciativa mundial de promoción de una mejor calidad del aire urbano a través del uso de combustibles más limpios en vehículos, por medio del uso de combustibles sin plomo y bajo en azufre.
- Organización del desarrollo industrial de las Naciones Unidas (UNIDO); esta participa en los trabajos relacionados con la gestión ambiental en diversos sectores industriales y relacionados con la supervisión, tratamiento, reciclado y eliminación de productos químicos tóxicos, desechos peligrosos y la remediación de sitios contaminados.
- Grupo del Banco Mundial; este ha sido muy activa en las actividades relacionadas con la eliminación gradual de la gasolina con plomo y ha publicado una serie de informes sobre este, como por ejemplo la eliminación del plomo en la gasolina en América Latina y el Caribe.
- Instituto de las Naciones Unidas para la formación profesional e investigaciones, UNITAR, tiene como objetivo la formación profesional y la investigación. Como también trabajar junto con otros organismos de la ONU, gobiernos y organizaciones no gubernamentales para fomentar la capacidad de responder a las necesidades de los distintos países.