



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

CADMIO: ASPECTOS AMBIENTALES,
TOXICOLOGICOS Y NORMATIVOS

TRABAJO MONOGRAFICO DE

ACTUALIZACION

PARA OBTENER EL TITULO DE:

Q U I M I C A

P R E S E N T A:

VICTORIA EUGENIA MEDINA Y GUTIERREZ

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN Mexico, D. F.

1996

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE:

PROFR. LENA RUIZ AZUARA

VOCAL:

PROFR. LILIANA SALDIVAR OSORIO

SECRETARIO:

PROFR. MARIA DOLORES LASTRA AZPILICUETA

1er.SUPLENTE:

PROFR. MARIA DEL CARMEN SANSON ORTEGA

2do.SUPLENTE:

PROFR. JOSE LUZ GONZALEZ CHAVEZ

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

BIBLIOTECA

FACULTAD DE QUIMICA

ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLOGICAS

SEDESOL

SECRETARIA DE SALUD

POSGRADO DE LA FACULTAD DE QUIMICA

ESTUDIOS AVANZADOS DEL I.P.N.

DIRECCION

CIUDAD UNIVERSITARIA

CASCO DE SANTO TOMAS I.P.N.

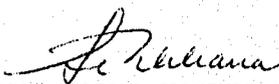
RIO ELBA 20

SAN LUIS POTOSI 199

CIUDAD UNIVERSITARIA

ZACATENCO.

ASESOR DEL TEMA:


DRA. LILIANA SALDIVAR OSORIO

SUSTENTANTE:


VICTORIA/EUGENIA MEDINA GUTIERREZ

PROLOGO

El presente trabajo tiene como finalidad hacer una revisión sobre las propiedades fisicoquímicas que caracterizan el comportamiento ambiental y toxicológico del elemento "Cadmio" en los sistemas biológicos, donde su presencia como contaminante afecta con mayor o menor intensidad, dependiendo de la ruta, concentración y características de los sistemas biológicos involucrados, en especial al hombre. Finalmente se revisa en forma somera la normativa vigente a la fecha en el país hacia la protección ambiental y laboral y sus efectos en la salud humana.

INDICE

Capítulo I.- Generalidades sobre contaminación.

1.- Antecedentes	1
2.- Fuentes de contaminación.	3

Capítulo II.- Aspectos Químicos, Físicos y Analíticos del Cadmio.

1.- Propiedades Físicas y Químicas.	6
2.- Procedimientos de análisis.	10

Capítulo III.- Origen natural del Cadmio y de Fuentes de Contaminación Ambiental.

1.- Origen natural.	13
2.- Fuentes industriales.	14
3.- Fuentes Ambientales.	15
4.- Distribución y Transporte Ambiental.	20
5.- Concentración de Cadmio en biota diversa.	22

Capítulo IV.- Aspectos toxicológicos del Cadmio.

1.- Generalidades sobre toxicología.	29
2.- Cadmio.- Toxicidad.	32
3.- Metodología para la evaluación del detrimento causado por contaminación con cadmio.	38

4.- Límites de exposición.	41
5.- Efectos sistémicos del cadmio.	43

Capítulo V.- Aspectos Normativos.

1.- Algunos aspectos sobre recomendaciones internacionales sobre cadmio.	51
2.- Niveles de Competencia para la Legislación Alrededor del Cadmio en México.	52
3.- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.	54
4.- La Ley Orgánica de la Administración Pública.	55
5.- Leyes y Reglamentos.	56

Conclusiones.	65
----------------------	-----------

Bibliografía.	67
----------------------	-----------

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. -Promedio de Abundancia de los elementos en la Corteza Terrestre	. 1
Tabla 2. Propiedades Físicas y Químicas de las Sales del Cadmio	.7
Tabla 3. Datos de equilibrio para complejos de Cationes del Grupo 12.	.8
Tabla 4. -Procedimientos Analíticos para el Cadmio.	.12
Tabla 5. -Estimaciones de emisiones de Cadmio atmosférico (Ton/año) comparando las concentraciones en una nación, una región y mundial	16
Tabla 6. -Concentración de Cadmio en organismos animales o vegetales, caracterizada por depositarse en una región dada	23
Tabla 7. -Eficiencia de asimilación de Cadmio en diferentes invertebrados de tierra.	34

LISTA DE DIAGRAMAS

- | | |
|--|----|
| Figura (1) Rutas de incorporación del Cadmio. | 5 |
| Figura (2) Evaluación del potencial de Transferencia en función de la forma química del Cadmio. | 10 |
| Figura (3) Organigrama de Competencia para Legislación Alrededor del Cadmio. | 53 |

CAPITULO I

GENERALIDADES SOBRE CONTAMINACION

1.- Antecedentes

La distribución de los elementos en nuestro planeta considerándolo como un sistema cerrado, que a lo largo de sus años aún no llega a su equilibrio químico, ha obedecido a fenómenos naturales como lluvia, viento, erosión, actividad volcánica, etc.

Los minerales que forman las rocas ígneas cristalizan durante el proceso de enfriamiento del magma; a través del tiempo estas rocas ígneas son lentamente destruidas por procesos físicos como los mencionados en el párrafo anterior o también por procesos químicos o biológicos.

La abundancia relativa de los elementos en la corteza terrestre se muestra en la Tabla 1 (1).

TABLA No. 1
PROMEDIO DE ABUNDANCIA DE LOS ELEMENTOS EN LA CORTEZA
TERRESTRE

ELEMENTO	ABUNDANCIA
O	46.60
Si	27.70
Al	8.13
Fe	5.00
Na	3.63
Ca	2.83
K	2.59
Mg	2.09
Otros	1.43

En el grupo "otros" están considerados los elementos que generalmente se encuentran a nivel de trazas en la composición del manto terrestre o se encuentran con abundancia relativa en sitios bien localizados, en rocas llamadas minerales. Debido a que los seres vivos incluyendo al hombre, toman de su entorno los nutrientes necesarios para su subsistencia, algunos de estos elementos se hallan presentes en los sistemas biológicos (2). Menos de la mitad de los elementos metálicos identificados en la materia viva son indispensables para el crecimiento y normal funcionamiento de los animales o las plantas y éstos pueden ser considerados según su presencia como, macroelementos: Na, K, Ca, y Mg o como elementos "traza": Fe, Co, Cu, Mn, Zn, Al, B, Mo, V.

Existen además elementos que no son esenciales para la vida. "dispensables", los que a su vez podemos dividirlos en no tóxicos: Cs, Cr, Ni, Rb, Si, Sr y Sn y elementos tóxicos: Sb, As, Ba, Be, Bi, Cd, Pb, Hg, Se, Ag, Te, Th. (2)

Sin embargo, cada vez en mayor medida, la actividad humana tiende a alterar la distribución de los elementos en la naturaleza, sus concentraciones y su dinámica; de manera tal que los sistemas biológicos también reflejan esta alteración, encontrándose con mayor frecuencia en los tejidos, elementos traza no esenciales, en concentraciones que pueden resultar dañinas para su funcionamiento.

La presencia de los elementos indispensables traza, y los dispensables ya sean no tóxicos y tóxicos, los adquiere el organismo del medio y refleja la interacción que existe entre ellos. Este fenómeno conocido como Contaminación, se difunde principalmente a través de la atmósfera y la hidrósfera. (3)

2.- Fuentes de contaminación.

Se han clasificado 5 fuentes principales de contaminación atmosférica: automotores (fuentes móviles), industria, generación de energía eléctrica (las plantas que usan petróleo y carbón), quemado de desechos y calderas de todo tipo.

Las emanaciones de estas fuentes se clasifican en 2 tipos: 1) Partículas sólidas o aerosoles y 2) Gases y vapores.

El problema de la contaminación atmosférica se ha presentado como crónico cada vez en mayor medida en grandes ciudades o conglomerados industriales con efectos retardados sobre la salud humana, por exposiciones prolongadas. En los últimos 100 años se han presentado también grandes desastres debido a condiciones climatológicas especiales, o falta de control de emanaciones de las industrias. Las altas concentraciones de contaminantes en la atmósfera han causado un aumento de enfermedades cardíacas y respiratorias e inclusive, muertes.

La exposición crónica y por tiempos largos a la contaminación atmosférica ha sido señalada también como causa de diversas enfermedades: desde malestar general, hasta cambios genéticos significativos.

Los océanos son tal vez el medio que presenta a la fecha el mayor problema de contaminación debido a que de alguna manera todos los desechos de la actividad humana se depositan en ellos, ya sea por depósito natural a través de la lluvia, la atmósfera y los ríos, o por vertederos hechos por el hombre para ese fin.

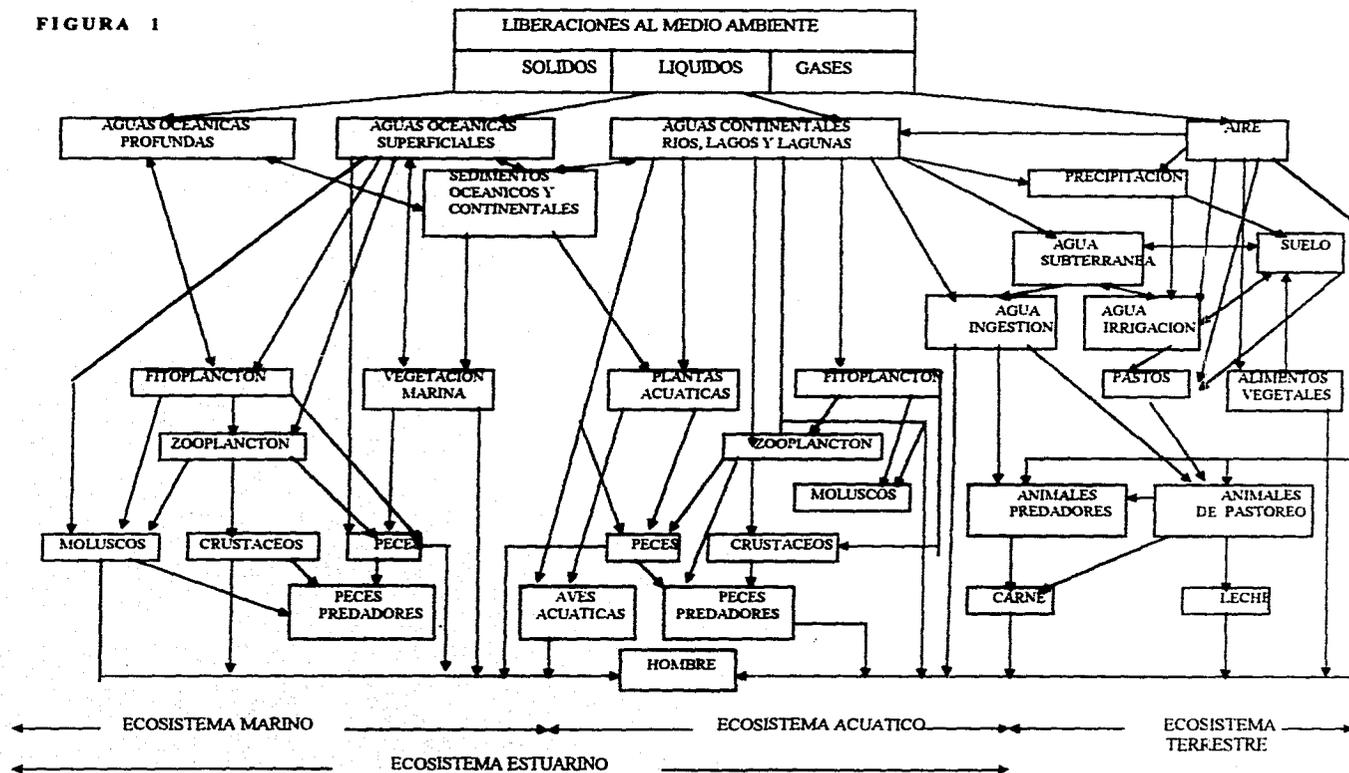
En los océanos están presentes de manera natural solo 15 elementos: O, H, Cl, Na, Mg, S, Ca, K, Br, C, Sr, B, Si, F y I.

Los cuatro primeros son constituyentes mayores y los otros 11 se encuentran en concentraciones de alrededor de 1 p.p.m. La contaminación marina significa: incremento de las concentraciones de estos elementos o bien, la introducción de otros que normalmente forman parte de su composición. (4)

La costumbre tan generalizada de verter los desechos industriales o municipales directamente en el medio marino, puede tener graves consecuencias, desde epidemias o enfermedades de la piel entre los usuarios de playas, hasta problemas de grandes proporciones como los ocurridos en Japón: como el caso de la Bahía de Minamata en 1950 y otro en Nigata en 1965. En Minamata murieron 52 personas y cientos más quedaron afectados como consecuencia de la ingestión de pescado contaminado con Mercurio; el Mercurio provenia de una planta química que vertía sus desechos directamente en la Bahía.(5)

Al igual que la contaminación atmosférica, el problema de la contaminación en aguas no sólo se manifiesta puntualmente algunas veces, sino que la exposición crónica a esta contaminación a través de la ingestión de agua u organismos marinos contaminados, puede causar severos detrimentos a la salud humana. El agua constituye una de las vías más importantes de entrada de elementos al organismo humano y los organismos marinos retienen durante un cierto periodo los metales traza actuando como "concentradores" de estos elementos, y el hombre es el último eslabón de la cadena biológica.

FIGURA 1



CAPITULO II

ASPECTOS QUIMICOS, FISICOS Y ANALITICOS DEL CADMIO

1) PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS.

El Cadmio de número atómico 48, masa atómica relativa de 112.4, es un elemento metálico y pertenece junto con el zinc y el mercurio al grupo 12 en la tabla periódica. Se encuentra raramente en estado puro, se presenta en varios tipos de rocas, suelos y agua, también como en el carbón y petróleo. Además de estas fuentes naturales, los minerales de cobre, plomo y zinc son fuentes naturales de cadmio. El Cadmio puede formar numerosas sales. Su movilidad en el ambiente y sus efectos en el ecosistema dependen en gran medida de la naturaleza de estas sales. Así no hay evidencia de que existan compuestos organocádmicos ó de cadmio orgánico, solamente sales de cadmio inorgánico.

El Cadmio puede existir unido a proteínas y otras moléculas orgánicas y forma sales con ácidos orgánicos, pero en estas formas se considera como inorgánico.

El Cadmio tiene una presión de vapor relativamente alta, el vapor es oxidado rápidamente para producir óxido de Cadmio en el aire; cuando están presentes gases reactivos o vapores, tales como: dióxido de carbono, vapor de agua, dióxido de azufre, trióxido de azufre o, cloruro de hidrógeno, el vapor reacciona para producir los carbonatos, hidróxidos, sulfuros, sulfatos o cloruros respectivamente; estas sales pueden formar conglomerados y así ser incorporados al ambiente.

Algunas de las sales de Cadmio, tales como los sulfuros, carbonatos y óxidos son prácticamente insolubles en agua; sin embargo pueden ser

convertidos a sales solubles en agua en la naturaleza, bajo la influencia de oxígeno y ácidos; los sulfatos, nitratos y halogenuros son solubles en agua.

Las propiedades físicas y químicas del Cadmio y sus sales se pueden resumir en la siguiente TABLA .

TABLA No. 2
PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LAS SALES DEL CADMIO

	Cadmio	Cloruro de Cadmio	Acetato de Cadmio	Oxido de Cadmio	Hidróxido de Cadmio	Sulfuro de Cadmio	Sulfato de Cadmio	Sulfito de Cadmio
Fórmula empírica	Cd	Cd Cl ₂	C ₄ H ₇ CdO ₄	CdO	Cd(OH) ₂	CdS	CdSO ₄	CdSO ₃
Masa molecular o atómica	112.41	183.32	230.5	128.4	146.41	144.46	208.46	192.46
Densidad Relativa	8.642	4.047	2.341	6.95	4.79	4.82	4.691	
Punto de Fusión	320.9	568	256	<1426	300	1750	1000	Se descompone
Punto de ebullición	765	960	Se descompone	900/1000 Se descompone				
Solubilidad en agua (g / litro)	Insoluble	1400 (20°C)	Muy soluble	Insoluble	0.0026 (26°C)	0.0013 (18°C)	755 (10°C)	Soluble ligeramente

Los datos de equilibrio para los complejos de los cationes del grupo 12, comparando el Cadmio con el Zinc y el mercurio, se encuentran en la Tabla No. 3. (6)

TABLA No. 3
DATOS DE EQUILIBRIO PARA COMPLEJOS DE CATIONES DEL
GRUPO 12

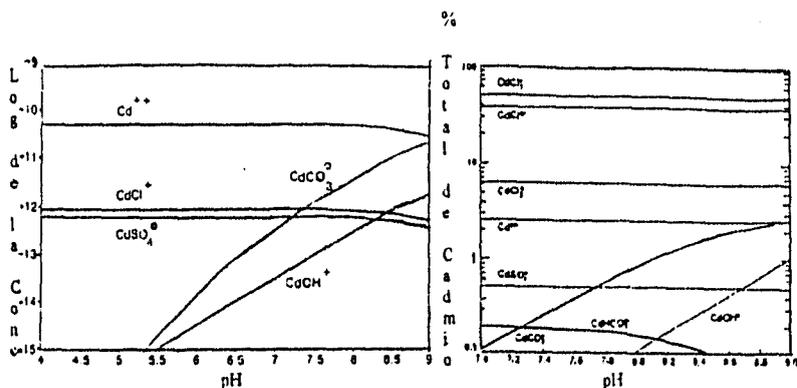
SISTEMAS	Metal	log K ₁	ΔH ₁ (KJ mol ⁻¹)	ΔS ₁ (KJ mol ⁻¹)
M ²⁺ .OH ⁻	Zinc	5.0	0	105
	Cadmio	3.9	0	79
	Mercurio	10.6	--	--
M ²⁺ .F ⁻	Zinc	0.8	7.5	42
	Cadmio	0.6	4.2	25
	Mercurio	1.0 ^c	4.2 ^c	33 ^c
M ²⁺ .Cl ⁻	Zinc	-0.2	5.4	16
	Cadmio	1.5	-0.4	29
	Mercurio	7.1	-24.3	54
M ²⁺ .Br ⁻	Zinc	-0.6	1.7	-4
	Cadmio	1.7	-4.2	21
	Mercurio	9.4	-40.1	46
M ²⁺ .I ⁻	Zinc	-1.5	--	--
	Cadmio	2.1	-9.2	8
	Mercurio	12.9 ^c	-75.3 ^c	8 ^c
M ²⁺ .CN ⁻	Zinc	5.3	--	--
	Cadmio	5.6	-30.5 ^b	13 ^b
	Mercurio	18.0 ^c	-96.0 ^b	0 ^b
M ²⁺ .SCN ⁻	Zinc	0.7 ^d	-5.9 ^d	-4 ^d
	Cadmio	1.3 ^d	-9.6 ^d	-8 ^d
	Mercurio	9.1 ^d	-49.7 ^d	8

$M^{2+} \cdot S_2O_3^{2-0}$	Zinc	1.9	--	--
	Cadmio	4.7	-6.3 ^d	67 ^d
	Mercurio	29.9 ^d	--	--
$M^{2+} \cdot NH_3$	Zinc	2.4 ^f	-10.9 ^f	8 ^f
	Cadmio	2.7 ^f	-14.6 ^f	4 ^f
	Mercurio	8.8 ^f	--	--
M^{2+} (glicinato)	Zinc	4.8 ^c	-11.3 ^a	59 ^a
	Cadmio	4.1 ^d	-8.8 ^b	50 ^a
	Mercurio	13.3 ^c	--	--
$M^{2+} \cdot (EDTA)^{4-}$	Zinc	16.4	-20.5	247
	Cadmio	16.4	-38.1	184
	Mercurio	21.5	-79.0	146

- a* De: Aylett (1979). Datos que se refieren a la primera constante de estabilidad, concentración de 3 mol/L;
b Concentración 0;
c Concentración 0.5 mol/L;
d Concentración 1.0 mol/L;
e Referidos a la constante de estabilidad total $\beta_2 = [ML_2]/[M][L]^2$;
f Concentración 2.0 mol/L;
g Concentración 0.1 mol/L.

Capacidad de retención de Cadmio por diferentes tipos de suelos

Los compuestos químicos del Cadmio en agua subterránea y superficial son importantes para la evaluación de su potencial de transferencia. Fig. 2. (7)



Especies de Cadmio inorgánico en agua subterránea. Distribución calculada de las especies químicas de Cadmio en agua de mar a 25°C y 1 at como función del pif.

2) PROCEDIMIENTOS DE ANALISIS.

A continuación, se darán los procedimientos analíticos más empleados, en forma simplificada:

1.- Muestreo y preparación de las muestras para su análisis.

En muestras de aire o agua, solo se pueden presentar unos pocos nanogramos de Cadmio o a menudo menos, mientras cientos de microgramos pueden estar presentes en pequeñas muestras de riñón, lodos residuales y plásticos. Así pues son diferentes, las técnicas que se requieren para la recolección, preparación y análisis de las muestras. En general las técnicas disponibles para determinar Cadmio en materiales ambientales y biológicos no diferencian entre las distintas especies de Cadmio. Así con técnicas de separación especial, el Cadmio contenido en las proteínas, se puede aislar e identificar; en la mayoría de los estudios, la concentración o cantidad de Cadmio en agua, aire.

suelo y otros materiales biológicos o ambientales se determina como el elemento en sí.

Los métodos de muestreo para elementos traza, se pueden usar para las determinaciones de Cadmio, (8) procurando tener precaución durante el manejo y almacenamiento de muestras, para así prevenir la contaminación cruzada, o bien, pérdida del elemento. Por lo anterior se deben emplear contenedores de materiales coloridos, plásticos y hules especiales, polietilenos libres de Cadmio, o bien de teflón o polipropileno. Todos los contenedores y vidriería deberán ser prelimpiados con ácido nítrico diluido y agua desionizada, para prevenir una posible adsorción de Cadmio en las paredes de los contenedores. Las muestras de agua o estándar con concentraciones de Cadmio bajas, no se deben almacenar por largos periodos de tiempo.

Las muestras para el análisis de sólidos inorgánicos (como suelos o muestras de polvo), se disuelven generalmente en un ácido, como el nítrico. Las muestras orgánicas necesitan ser sometidas a un tratamiento por vía húmeda (digestión) o bien una calcinación seca; cuando la concentración de Cadmio es baja son necesarios algunas veces tratamientos especiales. Los procedimientos para separación de Cadmio de sus interferentes y la concentración de las muestras, son pasos muy importantes para tener resultados correctos.

2.- Métodos Instrumentales.

Los métodos usados más comúnmente a la fecha son: Espectrofotometría de Absorción Atómica, Métodos Electroquímicos, Análisis por Activación Neutrónica, Espectrofotometría de Emisión, Espectrometría de Fluorescencia Atómica y Análisis de Emisión de Rayos Inducido por Fotones (PIXE).

Los métodos analíticos para Cadmio han sido revisados por Friberg y colaboradores (9). Los límites de detección de algunos de los métodos se dan en la tabla No. 4:

TABLA No. 4
PROCEDIMIENTOS ANALITICOS PARA EL CADMIO

METODO	ORDEN DE CONCENTRACION	TIPO DE MUESTRA
Espectrometría de absorción atómica (a)	0.005 mg/L	Agua Muestras biológicas
Atomización electrotérmica o espectrometría de absorción atómica empleando horno de grafito (b)	0.1-0.3 mg/L	Sangre y orina
Métodos electroquímicos (c)	0.1 mg/L	Orina
Análisis por activación neutrónica (d)	0.1 a 1 mg/L	Muestras biológicas y fluidos
Fluorescencia atómica de rayos X (e)	17 mg/kg	Muestras biológicas

- a.- Saldivar y colaboradores (10)
 b.- Delves et al (11)
 c,d,e.- Friberg y colaboradores (9)

Los métodos analíticos para Cadmio han sido revisados por Friberg y colaboradores (9). Los límites de detección de algunos de los métodos se dan en la tabla No. 4:

TABLA No. 4
PROCEDIMIENTOS ANALITICOS PARA EL CADMIO

METODO	ORDEN DE CONCENTRACION	TIPO DE MUESTRA
Espectrometría de absorción atómica (a)	0.005 mg/L	Agua Muestras biológicas
Atomización electrotérmica o espectrometría de absorción atómica empleando horno de grafito (b)	0.1-0.3 mg/L	Sangre y orina
Métodos electroquímicos (c)	0.1 mg/L	Orina
Análisis por activación neutrónica (d)	0.1 a 1 mg/L	Muestras biológicas y fluidos
Fluorescencia atómica de rayos X (e)	17 mg/kg	Muestras biológicas

a.- Saldivar y colaboradores (10)

b.- Delves et al (11)

c,d,e.- Friberg y colaboradores (9)

CAPITULO III

ORIGEN NATURAL DEL CADMIO Y FUENTES DE CONTAMINACION AMBIENTAL.

1.- Origen natural.

El Cadmio está ampliamente distribuido en la corteza terrestre en una concentración promedio de alrededor de 0.1 mg/Kg y se encuentra comúnmente asociado con el zinc; sin embargo se encuentra en niveles más altos en rocas sedimentarias: los fosfatos marinos con frecuencia contienen alrededor de 15 mg/Kg (13). El clima y la erosión da como resultado el transporte de grandes cantidades de Cadmio a los océanos y ésto, representa la mayor contribución en el ciclo total del transporte de Cadmio; se ha estimado un incremento anual por esta causa de aproximadamente 15,000 toneladas. (12 y13)

En terrenos alejados de yacimientos minerales, se han determinado concentraciones típicas entre 0.1 y 0.4 mg/Kg. La concentración media de Cadmio en suelos no volcánicos, está dentro de un intervalo de 0.01 a 1 mg/Kg, pero en suelos volcánicos se han encontrado niveles de 4.5 mg/Kg. (14 y 15)

El contenido de Cadmio promedio en agua de mar es alrededor de 0.1 microgramos por litro o menor (17). En las aguas de ríos: Mississippi, Yang Tse Kiang, Amazonas y Orinoco, muestreados entre 1976 y 1982, se determinó Cadmio disuelto, encontrando concentraciones menores a 1.1-13.5 nanogramos por litro (18); se han encontrado niveles de Cadmio

sobre 5 mg/Kg en sedimentos de lagos y ríos y entre 0.03 y 1 mg/Kg en sedimentos marinos (16).

Las determinaciones de Cadmio disuelto, en aguas de mar abierto dan valores menores de 5 nanogramos/litro; la distribución vertical de Cadmio disuelto en agua de océanos está caracterizada por una disminución superficial y un enriquecimiento en aguas profundas, lo cual corresponde al patrón de la distribución de nutrientes en estas áreas (19). Esta distribución se considera resultado de la absorción de cadmio por el fitoplancton en aguas superficiales, su transporte a la profundidad, su incorporación a restos biológicos y la liberación subsecuente. En contraposición el Cadmio está concentrado en aguas superficiales de áreas de manantiales y esto también está acorde con los niveles elevados de plancton originados por la actividad humana.

Los sedimentos oceánicos dentro de las áreas de alta actividad humana, pueden contener niveles de Cadmio marcadamente elevados, como resultado de la asociación con desechos biológicos.

En áreas muy remotas, inhabitadas, la concentración de Cadmio en el aire es menor de 1 nanogramo/m³. (16)

2.- Fuentes industriales.

Las aplicaciones principales del Cadmio, corresponden a cinco categorías; galvanizado de acero; como estabilizador de PVC; como pigmento en plásticos y vidrio; como material de electrodo en baterías de Cadmio-níquel; y como componente de varias aleaciones. (20)

La importancia relativa de las aplicaciones, ha cambiado considerablemente en los últimos años. El empleo de Cadmio para electroplatinado representaba en 1960 la mitad de todo el Cadmio

consumido mundialmente, pero en 1985 su proporción fue menor del 25% (21). Esta disminución se asocia a la introducción de límites de descarga estrictos para trabajos de platinado y más recientemente a la introducción en ciertos países de restricciones generales en el consumo de Cadmio. En contraste, el uso de Cadmio en baterías, ha mostrado un notable crecimiento en años recientes; de solo 8% del mercado total en 1970 se incrementó a 37% en 1985. El empleo de Cadmio en baterías, es de importancia en particular para Japón, y representó alrededor del 75% del consumo total en 1985 (21).

Los pigmentos y estabilizadores, representaron el 22% y 12% respectivamente, del consumo total en 1985. El comportamiento del mercado para el Cadmio en pigmentos, permaneció relativamente estable entre 1970 y 1985, pero el empleo del metal en estabilizadores durante este periodo mostró un considerable declive, en gran parte como resultado de factores económicos.

El empleo del Cadmio como constituyente de aleaciones es relativamente pequeño y ha declinado también en importancia en los últimos años representando alrededor del 4% de todo el Cadmio empleado en 1985 (21)

3.- Fuentes ambientales.

a) Fuentes de Cadmio atmosférico.

Se han hecho estimaciones de las emisiones de Cadmio a la atmósfera por fuentes naturales y humanas en todo el mundo; a fin de determinar: niveles regionales y/o nacionales. Un ejemplo de tales inventarios es el que se muestra en la tabla No. 5.

La actividad volcánica es la fuente natural de mayor liberación de Cadmio a la atmósfera. El incremento total anual debido a esta fuente, ha sido calculado entre 100 a 500 toneladas (16). El vulcanismo subterráneo también es una fuente de liberación de Cadmio al ambiente, pero el papel de este proceso en el ciclo total del Cadmio, está por ser cuantificado.

TABLA No. 5

ESTIMACION DE EMISIONES DE CADMIO ATMOSFERICO
(TONELADAS/AÑO) COMPARANDO LAS CONCENTRACIONES EN UNA
NACION, UNA REGION Y MUNDIAL.

FUENTE	REINO UNIDO (a)	COMUNIDAD DE ESTADOS EUROPEOS (b)	MUNDIAL
Fuentes Naturales	ND	20	150-2600(c)
Producción de metales no ferrosos	ND	ND	0.6-3
Zinc y Cadmio	--	20	920-4600
Cobre	3.7	6	1700-3400
Plomo	--	7	39-195
Producción secundaria	--	ND	2.3-3.6
Producción de sustancias conteniendo Cadmio	ND	ND	ND
Producción de hierro y acero ¹	2.3	34	28-284

¹ La producción de acero puede considerarse también como una fuente relacionada a desecho, ya que gran cantidad de chatarra de acero platinado con Cadmio es reciclada por esta industria. Como resultado la producción de acero es responsable de una considerable emisión atmosférica de Cadmio.

Combustión de combustibles fósiles:			
Carbón	1.9	6	176-882
Aceite	--	0.5	41-246
Incineración de residuos	5	31	56-1400
Incineración de lodos residuales	0.2	2	3-36
Fabricación de Fertilizantes fosfatados	ND	ND	68-274
Manufactura de cementos	1	ND	8.9-534
Combustión de madera	ND	ND	60-180
Emissiones totales	14	130	3350-14640
Emanaciones			

(a) De: Hutton y Symon (1986); datos de 1982-1983. (22)

(b) De: Hutton (1983) (23) datos para 1979-1980 (La C.E.E. consistía en ese período de Bélgica, Dinamarca, República Federal de Alemania, Italia, Luxemburgo, Los Países Bajos, República de Irlanda y El Reino Unido).

(c) De: Nriagu y Pacyna (1988), (24) dato aplicado a 1983.

ND No determinado

b) Fuentes de Cadmio acuáticas.

La minería de metales no ferrosos, representa una fuente mayoritaria de liberación de Cadmio al medio acuático. La contaminación por esta fuente puede provenir del agua de drenado de minas, de aguas residuales provenientes del procesamiento de los minerales, derrames de las piscinas de los jales, agua de lluvia que corre en el área general de la mina y de las partículas más ligeras que pasan sobre los cedazos en las operaciones de purificado.

La liberación de estos efluentes a los cursos de agua, puede conducir a una contaminación en los lechos, río abajo, lejos de la operación minera. Así es tema de discusión, y aún vigente, la responsabilidad de la contaminación continua de los cursos de aguas.

Se ha estimado que a nivel mundial, la fundición de minerales metálicos no ferrosos, es la fuente humana más grande de liberación de Cadmio al medio acuático. (24)

La fabricación de fertilizantes fosfatados conduce a una redistribución del Cadmio presente como fosfatos en las rocas, distribuyéndose entre el ácido fosfórico producido y, los desechos calizos. En muchos casos las calizas son transferidas a tiraderos cercanos a las costas, lo cual conduce a una considerable introducción de Cadmio al mar. Algunos países, recuperan la caliza para empleo como material de construcción y así las descargas de Cadmio al mar por esta fuente son despreciables.

El depósito húmedo de Cadmio en aguas saladas y dulces representa un incremento muy grande de Cadmio, a nivel mundial. (24) Un estudio de la GESAMP (Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Contamination) del Mar Mediterráneo, indica que esta fuente es de magnitud comparable a la contribución total de Cadmio en los ríos de la región (25). En forma semejante se introducen grandes cantidades de Cadmio en el Mar del Norte (110-430 toneladas/año); ésto ha sido estimado, mediante extrapolación y medición de depósitos de Cadmio a lo largo de las costas, sin embargo, otra investigación basada en modelos de simulación, conduce a un incremento de Cadmio anual, de 14 toneladas (26).

La acidificación de suelos y de lagos, puede dar como resultado un incremento en la movilidad de Cadmio, de los suelos y sedimentos y

conducir a un incremento de niveles en las aguas superficiales y los océanos.

c) Fuentes de Cadmio terrestres.

Los desechos sólidos son dispuestos en terraplenes, resultando una gran introducción de Cadmio a niveles nacionales y regionales (22). Las fuentes incluyen, las cenizas del quemado de combustibles fósiles, desechos de la fabricación de cementos y la disposición de residuos y aguas residuales municipales.

De significado muy grande desde el punto de vista ambiental son los desechos sólidos fabriles: tanto de metales no ferrosos, como de artículos conteniendo Cadmio, así como los residuos y cenizas de la incineración de residuos. Estos tres materiales de desecho, que se caracterizan por sus altos niveles de Cadmio, requieren de sitios controlados para su disposición, a fin de prevenir la contaminación de los océanos.

La aplicación de fertilizantes fosfatados en la agricultura, representa un incremento directo de Cadmio a suelos cultivables. El contenido de Cadmio en los fertilizantes fosfatados, varía ampliamente y depende del origen de la roca. Se ha estimado que los fertilizantes de Africa occidental contienen entre 160-225 g Cadmio/tonelada de pentóxido de fósforo, mientras que aquellos provenientes del sureste de los Estados Unidos, contienen 36 g/tonelada.

La velocidad en el incremento anual de Cadmio por esta vía a los suelos cultivables, se ha estimado que es de 5 g/hectárea, para los países de la C.E.E. (Comunidad Europea del Este). Esto solo representa alrededor del 1% del nivel de Cadmio en suelo superficial. A pesar de esta tasa de incremento relativamente pequeña, se ha demostrado que la

aplicación continua de fertilizantes causa un incremento en la concentración del Cadmio en suelos.

La aplicación de lodos residuales municipales a suelos agrícolas como fertilizantes, también puede ser una fuente significativa de Cadmio; se ha estimado un valor de 80 g/hectárea para el Reino Unido (22). Desde el punto de vista de una región o una nación, estos incrementos son mucho más bajos que los provenientes de fertilizantes fosfatados o por depósito atmosférico.

Los suelos contaminados pueden contener niveles de Cadmio sobre 57 mg/Kg (peso seco), resultado de la aplicación de lodos a suelos y sobre los 160 mg/Kg, en los alrededores de las industrias procesadoras de metales (27). Los mayores niveles de Cadmio que han sido informados son los de áreas de antiguas minas: con niveles de 468 mg/Kg.

4.- Distribución y transporte ambiental.

a) Depósito atmosférico.

El Cadmio es transferido de la atmósfera, por depósito seco y por precipitación. En áreas rurales de Escandinavia, se ha medido la velocidad de depósito anual de 0.4-0.9 g/hectárea. En forma semejante en regiones rurales de Tennessee, Estados Unidos, se ha observado una velocidad de depósito de 0.9 g/hectárea (28).

La contribución correspondiente para estas áreas por causa de la aplicación de fertilizantes fosfatados, es de 5 g/hectárea por año.

Muchas fuentes industriales de Cadmio poseen altas chimeneas, lo cual redonda en una dispersión y dilución amplia, de las partículas emitidas. Sin embargo, la velocidad de depósito del Cadmio alrededor de las fundidoras, es marcadamente elevada cerca de la fuente y generalmente disminuye rápidamente con la distancia.

Son comunes las concentraciones de Cadmio en suelos arriba de los 100 mg/Kg, en las cercanías de las fundidoras (29).

Las hierbas que crecen cerca de las fuentes atmosféricas pueden contener altas concentraciones de Cadmio. Sin embargo, no es siempre posible distinguir entre el Cadmio proveniente de depósito superficial o de la incorporación por raíces, ya que los niveles en los suelos de tales áreas son generalmente más altos que los normales.

b) Transporte de agua a suelo.

Los ríos contaminados con Cadmio pueden contaminar la tierra de los alrededores, ya sea por empleo del agua para riego agrícola, por dragado o a través de las inundaciones. Por ejemplo las tierras agrícolas adyacentes al Río Necker, en Alemania, reciben sedimentos provenientes de su dragado, para abonar el suelo. Esta práctica ha producido concentraciones de Cadmio en suelo de 70 mg/Kg.

Mucho del Cadmio que ingresa a aguas dulces, proveniente de fuentes industriales se adsorbe rápidamente por material minúsculo, donde puede permanecer fijo o suspendido, dependiendo de las condiciones locales. Esto puede dar como consecuencia una concentración baja de Cadmio disuelto en los ríos que reciben y transportan grandes cantidades de este metal (30).

5.- Concentración de Cadmio en Biota diversa.

Eisler (33) concluyó, que hay al menos seis rutas que confirman que los datos disponibles de la presencia de Cadmio en la biota, derivan de productos de desecho:

- Los organismos marinos generalmente contienen mayor cantidad de residuos de Cadmio, que sus equivalentes de agua dulce y sus contrapartes terrestres.
- El Cadmio tiende a concentrarse en las vísceras de los vertebrados, especialmente en el hígado y los riñones.
- Las concentraciones de Cadmio son generalmente mayores en organismos viejos.
- Las altas concentraciones de residuos de Cadmio se asocian generalmente con fuentes urbanas o industriales, sin embargo, esto no es aplicable a las aves marinas y mamíferos marinos.

TABLA 6.
 CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN ORGANISMOS ANIMALES O
 VEGETALES, CARACTERIZADA POR DEPOSITARSE EN UNA
 REGIÓN DADA. (31)

Organismo	Parte del organismo	Concentración de Cadmio mg/Kg de peso seco
<u>Organismos marinos</u>		
Algas		< 1 a 16
Moluscos	partes suaves riñón hígado glándulas digestivas	alrededor de 425 alrededor de 547 alrededor de 782 alrededor de 1163
Crustáceos	cuerpo total	< 0.4 - 6.2
Anélidos	cuerpo total	0.1 - 3.6
Pescado	cuerpo total	arriba de 5.2
Aves	riñón	arriba de 231
Mamíferos	riñón	arriba de 300
<u>Organismos de agua dulce</u>		
Plantas	planta total raíces	0.5 - 1.8 arriba de 6.7
Moluscos	parte suave; peso fresco	0.2 - 1.4
Anélidos	cuerpo total; peso fresco	0.5 - 3.2
Pescado	cuerpo total; peso fresco	0.01 - 1.04
<u>Organismos terrestres</u>		
Plantas	planta total granos	arriba de 27.1 arriba de 257
Anélidos	cuerpo total	3 - 12.6
Pájaros	cuerpo total (peso húmedo) riñón (peso húmedo)	< 0.05 - 0.24 arriba de 7.4
Mamíferos	riñón	arriba de 8.1

- Los residuos de Cadmio en plantas son normalmente menores que 1 mg/Kg. Sin embargo, algunas plantas que crecen en suelos enriquecidos en Cadmio (por ejemplo con lodos residuales) pueden contener niveles significativos de Cadmio.
- La especie analizada, la estación del año de colección, los niveles de Cadmio ambiental, así como el sexo de los organismos en conjunto, afecta probablemente el nivel de Cadmio residual encontrado.

a) Concentración en pescado.

En 1976-1977 fue evaluada la concentración de peces de agua dulce en los Estados Unidos en 1976-1977 y se determinó la presencia de Cadmio, obteniéndose un intervalo de concentración entre 0.01 y 1.04 mg/Kg (peso húmedo), el promedio sería 0.085 mg/Kg. Esto representó una disminución significativa sobre el promedio de la concentración encontrada en 1972 que fue de 0.112 mg/Kg. Esta disminución coincide con la disminución en la producción de Cadmio metálico y su consumo, en el mismo período (32).

Hardisty y colaboradores, (33) muestrearon pez lenguado (Platichthys flesus) del estuario de Severn, Reino Unido, y encontraron concentraciones promedio de Cadmio entre 3.4 y 7.3 mg/Kg (peso seco). No se observó ninguna correlación total entre la concentración de Cadmio y el tamaño o edad, sin embargo, los peces más grandes (27 - 29 cm) y los más viejos (≥ 5 años) tenían la concentración promedio más alta. Se ha encontrado, así también, una correlación positiva entre el contenido de Cadmio de una amplia variedad de especies de peces y el contenido de Cadmio en la dieta de los crustáceos con los que se alimentaban. En peces del Estado de Nueva York, U.S.A., se encontraron concentraciones promedio de Cadmio de $< 10 - 142.7 \mu\text{g/Kg}$ (pescados frescos). No hubo correlación entre residuos totales y

tamaño, sexo o edad de las truchas de lago del orden salmoniforme, que es mucho más pequeño que el salmón (Salvelinus namaycush).

b) Concentración en pájaros marinos

El Cadmio, ha sido encontrado en una amplia variedad de pájaros y en particular se han encontrado altos niveles, en aves marinas (pelágicas).

La mayoría del Cadmio, aparece en los riñones e hígado y poco relativamente, se transfiere a los huevos. Una revisión sobre la incorporación del Cadmio y, de los factores que la afectan, se puede encontrar en el artículo de Scheuhammer, 1987 (17). Curiosamente se ha encontrado que las concentraciones de Cadmio en aves marinas son con frecuencia mayores en áreas con poca o ninguna concentración de fuente industrial.

c) Concentración en mamíferos marinos.

Se han encontrado niveles altos de Cadmio en mamíferos marinos, en las regiones del mundo, en las que se infiere que lo incorporan de su dieta, que es a base de pescado. Roberts y colaboradores, 1976 (34) mostraron que los niveles de Cadmio en riñones de la foca común de las costas del Reino Unido, estuvieron relacionadas con la edad.

Se ha mostrado una correlación semejante en focas de las costas de Alemania y en leones marinos de las costas de Japón, así también se encontraron tendencias similares en delfines y marsopas. Muir y colaboradores, 1988 (35) muestrearon delfines trompa blanca (Lagenorhynchus albirostris) y cachalotes guía (Glomicephalo melaena) de las costas de Newfoundland, Canadá, y encontraron niveles

promedio de Cadmio en riñones (peso húmedo) de 13.6 mg/Kg y, 108 mg/Kg respectivamente. La concentración en el caso de los cachalotes guía se relacionó con la edad. Los niveles más bajos encontrados en delfines, se relacionaron en forma probabilística a la diferencia en la especie y al hecho de que todos los animales estudiados fueron jóvenes.

d) Concentraciones de biota en sitios adyacentes a carreteras.

Muskett y Jones, 1980 (36) llevaron a cabo muestreos en áreas adyacentes a carreteras muy transitadas con el fin de determinar los niveles de Cadmio. Las concentraciones en aire fueron muy altas entre los 0 a los 10 metros de la vía, y un patrón semejante se encontró en el suelo. Los niveles de Cadmio en lombrices de tierra, muestreados a distancias conocidas de una carretera, revelaron niveles de 12.6 mg/Kg (peso seco) a 3 metros disminuyendo hasta 7.1 mg/Kg aproximadamente, a 50 metros de la carretera. El nivel en lombrices de tierra muestreados en los puestos de control fué de 3 mg/Kg.

e) Alteración de la concentración de Cadmio debida a fuentes industriales.

Burkitt y colaboradores, 1972 (37) analizaron el contenido de Cadmio de cultivos de centeno a varias distancias de una fundidora de zinc y encontraron 50, 10.8 y 1.8 mg/Kg en peso seco a distancias de 0.3, 1.9 y 11.3 kilómetros respectivamente, de la fundidora.

Teraika, 1989 (38) encontró en Japón, que los niveles de Cadmio en raíces de arroz fueron significativamente mayores en áreas urbanas industriales y áreas aledañas a carreteras, comparadas con áreas

pobladas en forma esparcida. El nivel promedio en áreas industriales, fué de 10 mg/Kg (peso seco).

Beyer y colaboradores, 1985 (39) monitorearon biota en la vecindad de dos fundidoras de zinc en Pensilvania Este, U.S.A. Las concentraciones de Cadmio fueron mayores en insectos de carroña (25 mg/Kg de peso seco), seguidas por hongos (9.8 mg/Kg), hojas (8.1 mg/Kg), musarañas (7.3 mg/Kg), mariposas (4.9 mg/Kg), ratones 2.6 mg/Kg), aves canoras (2.5 mg/Kg) y fresas (1.2 mg/Kg).

Van Hook, 1974 (40) muestreó suelo y lombrices de tierra en terrenos que no habían sido perturbados por 30 años y, reportó niveles promedio de Cadmio en suelos y lombrices de tierra de 0.35 y 5.7 mg/Kg de peso seco respectivamente. Ma. W, y colaboradores (41) analizaron suelos y lombrices de tierra (Lumbricus rubelus) a distancias variables de plantas fundidoras de zinc; el rango de Cadmio fué de 0.1 a 5.7 mg/Kg para el suelo y de 20 a 202 mg/Kg para las lombrices, y hubo una correlación entre el decrecimiento de la distancia de la fundidora y el incremento de niveles de Cadmio. Así en muestras de suelos y lombrices de tierra (Aporrectodea tuberculata y Lumbricus terrestris) de suelos abonados y de no abonados, con lodos residuales se encontró .

	Concentración mg/Kg		Incremento de Concentración en número de veces
	Suelo	Lombrices	
Terreno común no abonado	0.6	3.8	5.8
Terreno común abonado	2.0	22.0	
Terreno minero no abonado	1.0	12.0	3
Terreno minero abonado	3.5	36.0	

La menor capacidad de las lombrices para incorporar el metal en áreas ya contaminadas con Cadmio, sugiere alguna selección de las variedades, que controla la incorporación del metal. Morgan y Morgan, 1988 (42) muestreó lombrices de tierra (Lumbricus rubellus y Deudrodilus rubidus) de un sitio sin contaminar y quince sitios contaminados con el metal en la vecindad de las minas metálicas no ferrosas, ya señaladas, del Reino Unido. Las concentraciones de Cadmio en las lombrices osciló entre 8 mg/Kg y 1786 mg/Kg., ésto en general correspondió de un 82% a 86% mas que las concentraciones de cadmio en los suelos donde fueron muestreadas dichas lombrices.

CAPITULO IV

ASPECTOS TOXICOLOGICOS DEL CADMIO

1.- Generalidades sobre Toxicología. (43)

La palabra tóxico tiene sus raíces tanto en latín como en griego y significa flecha, debido seguramente al uso primitivo que se daba a algunas sustancias tóxicas añadidas a las flechas para asegurar su efecto letal.

Las sustancias tóxicas y su empleo son tan antiguas, como la humanidad. Egipto, Grecia, Roma y pueblos afines son civilizaciones que generalmente las empleaban.

Entre los griegos podemos mencionar a Mitriades autor de la "Mitridización", uno de los primeros que intentó emplear antidotos contra los venenos, además de usar el principio activo de la "cicuta" como medio de ejecución en la pena capital.

En el siglo XVI George Agricola y Paracelso abordan las intoxicaciones metálicas, a este último autor se le considera el iniciador de la toxicología cuantitativa, base de la toxicología moderna.

La acumulación de todos los conocimientos, ha orientado la investigación hacia los mecanismos de acción de los tóxicos, el diagnóstico precoz y principalmente su prevención, lo cual ha permitido

la legislación tendiente a la protección de la clase trabajadora sometida a riesgos tóxicos.

El acelerado desarrollo industrial, como ya se apuntó en la parte introductoria de este trabajo, ha provocado la presencia de agentes, que por sus características o su alta concentración son dañinos a los organismos expuestos o bien, provocan un desequilibrio en la dinámica natural de los ecosistemas.

La salud desde el punto de vista ecológico involucra el equilibrio de tres elementos: agente, hombre y medio ambiente: se han establecido, para cada uno de ellos las bases para evaluar el riesgo que produce la presencia del tóxico.

En relación al agente debemos considerar las propiedades físicoquímicas, concentración, dosis y la presencia de otros contaminantes.

Con respecto al medio ambiente interesa la exposición, sitio, duración y frecuencia principalmente.

Los factores relacionados con el hombre son el patrón o carga genética, capacidad de respuesta, estado de nutrición, edad, estado hormonal y la presencia de un estado patológico previo.

La toxicología que hasta hace unos años era ciencia puramente descriptiva de los factores nocivos a la salud, actualmente genera conocimientos que establecen los límites de seguridad en el uso de sustancias, a las que con relativa frecuencia se expone el ser humano y estudia los mecanismos fisiológicos, celulares y moleculares que determinan la toxicidad.

Estos conocimientos llevan a sugerir la prohibición o disminución en el uso o producción de ciertas sustancias, control de aquellas de bajo riesgo, así como la posibilidad de que éstos tóxicos contribuyan en la génesis de enfermedades crónicas, digestivas, respuestas mutagénicas, carcinogénicas o teratogénicas.

Se distinguen tres tipos de intoxicación, considerando el tiempo transcurrido entre la exposición y la aparición de los efectos, intensidad y duración de los mismos: aguda, subaguda y crónica.

a) Intoxicación aguda.

Se produce cuando hay una exposición de corta duración y el agente químico es absorbido rápidamente en una o varias dosis en un periodo no mayor de 24 horas, apareciendo efectos de inmediato, pudiendo tener un desenlace fatal o bien una recuperación más o menos rápida.

b) Intoxicación subaguda.

Exposiciones frecuentes o repetidas durante tiempo variable en un periodo de varios días o semanas antes de que aparezcan los síntomas, pudiendo presentarse en forma progresiva o con una severidad variable.

c) Intoxicación crónica.

Exposiciones repetidas a muy bajas dosis durante un periodo prolongado, los síntomas y signos pueden presentarse por acumulación del tóxico o bien por acumulación de efectos, es decir, la cantidad eliminada del agente es menos que la absorbida.

2.- Cadmio. Toxicidad.

Factores que influyen.

En sistemas acuáticos, el Cadmio es frecuentemente incorporado por los organismos directamente del agua, pero también puede ser ingerido con alimentos contaminados. La incorporación a través del agua se puede reducir por incremento de la concentración de sales de calcio y magnesio (aguas duras).

La incorporación de Cadmio a través de agua de mar se puede reducir en gran medida por la formación de complejos con cloro, que son menos accesibles para los organismos.

Los organismos de aguas dulces se contaminan de acuerdo a su capacidad de absorción del agua, más que por su posición en la cadena alimenticia. En consecuencia, son comunes las diferencias en la concentración de Cadmio entre especies en el mismo nivel trófico no siendo ésto una evidencia de bioconcentración. En contraparte los organismos marinos toman el Cadmio principalmente de la comida. La primera fuente de Cadmio en sistemas terrestres es el suelo y la incorporación sigue las rutas de la cadena alimenticia, sin embargo, el depósito de Cadmio en las plantas y superficies animales puede ser además significativa, para incrementar la contaminación de cada nivel trófico.

Existen variaciones en la incorporación y retención de Cadmio en carnívoros, además de que existen algunas evidencias de bioacumulación.

Los organismos que toman su comida de sedimentos o desechos, pueden acumular más Cadmio que los que pertenecen a la cadena alimenticia de pastoreo. Como se ha visto anteriormente se han registrado niveles altos de Cadmio en mamíferos marinos, aves marinas pelágicas y animales invertebrados.

En una amplia variedad de organismos, el Cadmio se distribuye a través de la mayoría de los tejidos, pero tiende a acumularse en raíces, agallas o branquias, hígado, riñones y esqueleto externo. El Cadmio en las células se une frecuentemente a las proteínas del citoplasma, como un posible mecanismo de desintoxicación. La eliminación ocurre probablemente en forma primaria por la vía de los riñones, pero también en la muda del esqueleto externo.

Hay algunas evidencias de interacción entre el Cadmio y otros metales, especialmente calcio y zinc. El Cadmio puede reemplazar al calcio en la proteína específica para calcio, denominada calmodulina y afectar otros procesos fisiológicos que regulan la incorporación del calcio. En ciertas circunstancias, el zinc incrementa la retención del Cadmio en el hígado y riñones de vertebrados acuáticos; sin embargo en sistemas terrestres, como suelos con altos niveles de zinc, se puede reducir apreciablemente la incorporación de Cadmio.

La selección, puede conducir a poblaciones tolerantes al Cadmio, tanto en ambientes terrestres como acuáticos.

TABLA No. 7
 EFICIENCIA DE ASIMILACIÓN DE CADMIO EN DIFERENTES
 INVERTEBRADOS DE TIERRA. (44)

Espece	Medio alimenticio	Concentración de Cadmio en alimento (μmol/g)	Eficiencia de asimilación %
<u>Vibora (Orienta arborum) *</u>	Agar	1.48	55 - 92
<u>Cienpiés (Lihobius variegatus)</u>	Isópodo hepatopáncreas	1.21 - 10.2	0 - 1.2
<u>Milpiés</u>	Hojas de maple	----	8.2 - 40.6
<u>Araña (Neobisium muscorum)</u>	Colémbolo	0.20	58.9
<u>Hormiga (Platynothrhus peltifer)</u>	Alga verde	0.15	17.2
<u>Insectos: Orchesella cineta</u>	Alga verde	0.09	8.3
<u>Orchesella cineta</u>	Alga verde	0.15	9.4
<u>Nofioophilus biguttatus</u>	Colémbolo	0.23	35.5

* valor de asimilación para la glándula de mitad del intestino.

Toxicidad en organismos terrestres.

Tanto animales como plantas terrestres acumulan Cadmio, pero la velocidad de acumulación es mucho mayor dentro de condiciones experimentales; ya que en este medio el Cadmio está disponible en

solución, como es el caso del crecimiento de plantas en suelo; que en casos, donde el Cadmio está ligado y menos disponible.

El Cadmio tiene efectos adversos en el crecimiento hidropónico de plantas a concentraciones del orden de miligramos por litro; mientras que en plantas que crecen en tierra, solo se muestra reducción en el crecimiento en suelos contaminados.

Los invertebrados terrestres son relativamente insensibles a efectos tóxicos inducidos por Cadmio, probablemente debido al efecto de mecanismos de secuestro en órganos específicos. Cuando llegan a ocurrir efectos tóxicos, éstos consisten en una reducción del crecimiento y reproducción.

Toxicidad en seres humanos.

La intoxicación con Cadmio en los seres humanos se manifiesta con una irritación nefrotóxica y puede presentarse como:

a) Intoxicación aguda y subaguda: Si se trata de inhalación de aerosoles, los síntomas van desde irritación de las vías respiratorias hasta, disnea, además de debilidad, fatiga, anorexia, náuseas, alteraciones renales con proteinuria.

Por ingestión de alimentos o bebidas contaminadas se presentan severas alteraciones hepáticas y renales; náuseas, vómitos, diarreas, dolores abdominales y musculares, así como abundante salivación.

b) Intoxicación crónica: Producida generalmente por inhalación de cadmio a través de aerosoles, conduce a enfisema y fibrosis pulmonar

progresiva y alteraciones renales con proteinuria, que se agrava con el transcurso de la exposición.

Inicialmente aparece eliminación urinaria de proteínas de bajo peso molecular, como la β -2-microglobulina, posteriormente se incrementan los síntomas: astenia, anemia, glicosuria, aminoaciduria, hipofosfaturia, incrementándose la excreción de ácido úrico y en el caso de que sea producida por ingestión de alimentos se pueden tener daños a los huesos.

La intoxicación crónica ocurre principalmente por dos motivos: por exposición ocupacional o, por ingestión de alimentos que tienen un contenido alto de Cadmio adquirido generalmente por causas de contaminación ambiental.

Se ha visto que a nivel ocupacional puede producir cambios en la mucosa nasal, un estudio realizado sobre 106 trabajadores de una planta productora de baterías de cadmio - níquel, arrojó como dato que el 63% de los trabajadores presentaron afecciones senoidales, confirmadas por RX, contra un 33% que existe en población asintomática. (45)

Un ejemplo de daño por Cadmio por exposición crónica es el proveniente del hábito de fumar cigarros o puros, el estudio que correlaciona causa efecto ha encontrado que en un 20 % de los casos se tienen como efectos: presión arterial alta y detrimento de la pared arterial, enfermedad de Itai -Itai, dilatación del músculo cardíaco, enfisema, fibrosis y cáncer pulmonar así como alteraciones en el sistema nervioso(46)

Toxicidad en microorganismos.

En forma experimental se ha demostrado que el Cadmio es tóxico para una gran cantidad de microorganismos, sin embargo, la presencia de sedimentos, materia orgánica o altas concentraciones de sales disueltas, reduce la disponibilidad del Cadmio para los microorganismos y así se reduce el impacto tóxico. Los microorganismos de agua dulce en estudio, son afectados por el Cadmio a concentraciones menores que las especies marinas, así por ejemplo 50 mg/L afectan el crecimiento de muchas especies de algas de agua dulce, mientras que se requieren por lo menos 100 mg/L y hasta 1000 mg/L para reducir el crecimiento de especies marinas. Los microorganismos de tierra son protegidos parcialmente de los efectos del Cadmio por la presencia de arcillas.

Toxicidad de organismos acuáticos.

La incorporación de Cadmio del agua por organismos acuáticos, es extremadamente variable y depende de la especie y de condiciones ambientales varias, tales como, dureza del agua (en forma sobresaliente) de la concentración del ion calcio, de la salinidad, de la temperatura, del pH y del contenido de materia orgánica.

La mayoría de los agentes quelantes hacen que disminuya la incorporación de Cadmio. El impacto tóxico a organismos acuáticos varía también a través de un amplio rango de concentraciones y depende de la especie del organismo y de la presencia de otros iones metálicos, notablemente del calcio y el zinc.

Los resultados de que se dispone, indican que los estados larvario y embrionario de un organismo acuático, son los más sensibles en

comparación con el estado adulto. Se inducen malformaciones de la espina en peces expuestos a Cadmio. Además de causar efectos sobre la reproducción, este elemento influye en el comportamiento de los organismos acuáticos.

A concentraciones bajas de Cadmio se inhibe el sistema de transporte de iones (10 mg de Cadmio/L) y se induce la síntesis de metalotioneínas (< 1 mg Cadmio/L) en peces de agua dulce.

3.- Metodología para la evaluación del detrimento causado por contaminación con cadmio. (47)

En un programa de supervisión de las intoxicaciones por Cadmio se pueden desarrollar actividades de:

- a) Monitoreo biológico.**
- b) Monitoreo ambiental y;**
- c) Análisis toxicológicos.**

a) Monitoreo biológico.

Para el efecto, la evaluación de exposición al Cadmio se hace por: la determinación directa del elemento en sangre y la orina, otros indicadores pueden ser la evaluación de la proteinuria total y la determinación en la orina de los niveles de beta -2- microglobulina.

Para personas no expuestas, los valores de beta -2- microglobulina son habitualmente inferiores a 0.1 mg/L; otra forma de evaluar la exposición es mediante la determinación del elemento en muestras de riñón o hígado obtenidas a través de autopsias.

comparación con el estado adulto. Se inducen malformaciones de la espina en peces expuestos a Cadmio. Además de causar efectos sobre la reproducción, este elemento influye en el comportamiento de los organismos acuáticos.

A concentraciones bajas de Cadmio se inhibe el sistema de transporte de iones (10 mg de Cadmio/L) y se induce la síntesis de metalotioneínas (< 1 mg Cadmio/L) en peces de agua dulce.

3.- Metodología para la evaluación del detrimento causado por contaminación con cadmio. (47)

En un programa de supervisión de las intoxicaciones por Cadmio se pueden desarrollar actividades de:

- a) Monitoreo biológico.**
- b) Monitoreo ambiental y;**
- c) Análisis toxicológicos.**

a) Monitoreo biológico.

Para el efecto, la evaluación de exposición al Cadmio se hace por: la determinación directa del elemento en sangre y la orina, otros indicadores pueden ser la evaluación de la proteinuria total y la determinación en la orina de los niveles de beta -2- microglobulina.

Para personas no expuestas, los valores de beta -2- microglobulina son habitualmente inferiores a 0.1 mg/L; otra forma de evaluar la exposición es mediante la determinación del elemento en muestras de riñón o hígado obtenidas a través de autopsias.

Las concentraciones usuales de Cadmio en el organismo humano son, tanto en sangre como en orina, menores a $1\mu\text{g/L}$ en no fumadores y menores de $2\mu\text{g/L}$ en fumadores.

Desde un punto de vista preventivo, la OMS(48) establece como límites biológicos, los siguientes:

En orina, $10\mu\text{g/L}$ de creatinina (proteína de bajo peso molecular normalmente filtrada por el riñón y excretada en niveles definidos en seres humanos sanos) , como límite máximo.

En sangre total, $10\mu\text{g/L}$ de Cadmio.

La OMS recomienda aplicar medidas de control cuando estos valores exceden $5\mu\text{g/g}$ de creatinina y $5\mu\text{g/L}$ de Cadmio en sangre respectivamente.

b) Monitoreo ambiental.

Para la evaluación del Cadmio incorporado al ambiente, las muestras que se programan son de, aire, agua, suelo y alimentos, dependiendo de la ruta esperada; así en las minas, el monitoreo de aire es muy importante para conocer las concentraciones a las que los trabajadores están expuestos, en cambio para población en general cercana a fuentes de contaminación debe tomarse además de aire, muestras de agua y suelo.

Con relación a alimentos, se deben seleccionar distintos tipos de alimentos, principalmente granos, frutas y verduras frescas y verificar la cantidad de Cadmio en forma separada en la superficie y en el interior o bien , preparar los alimentos en forma de una muestra homogénea

Con el fin de tener un monitoreo ambiental completo, se pueden emplear, organismos vivos sensibles a la sustancia que se quiere observar y que experimentan cambios precoces y visibles en función del aumento de la concentración del metal . Son excelentes indicadores el mejillón (Mytilus edulis), las plantas superiores, los líquenes, los musgos y las algas.

c) Análisis toxicológico.

La evaluación toxicológica para detectar la intoxicación por Cadmio, además de las técnicas analíticas para determinar su concentración en matrices biológicas, incluye otras determinaciones tales como la proteinuria, y la glicosuria, que son manifestaciones del daño renal que este material causa. Así el diagnóstico precoz, preclínico, de la intoxicación crónica por cadmio se puede hacer midiendo la concentración en orina de proteínas de bajo peso molecular, por ejemplo, de beta-2-microglobulina mediante electroforesis o radioinmunoensayo.

Tanto para muestras biológicas como ambientales, es necesario incluir dentro del estudio , controles que sirvan para advertir cualquier desviación de los resultados ya sea por contaminación o bien para referencia en el caso de la evaluación de resultados.

4.- LIMITES DE EXPOSICION. (48)

Los limites establecidos para la exposici3n al Cadmio han tomado en cuenta las diferentes fuentes de exposici3n y la suma total de las cantidades con que cada una de ellas contribuye efectivamente en la cantidad final que va a ingresar y ser absorbida por el organismo.

Limites ocupacionales.

El establecimiento de un valor l3mite para el aire en los ambientes de trabajo no implica que con concentraciones por debajo de este valor no se produzcan efectos adversos en los expuestos, sino como referencia para proteger al personal.

Valor promedio en el tiempo (TLV 3 TWA)*: 0.01 mg/m³ para polvos y humos (OMS).*

Valor umbral l3mite: 0.05 mg/m³ (techo) para polvos y humos de Cadmio u 3xidos de Cadmio (ACGIH).*

Valor promediado en el tiempo: 0.2 mg/m³ (polvos) y 0.1 mg/m³ (humos) (OSHA).*

Valor de exposici3n corta: 0.2 mg/m³ (ACGIH).

- Valores umbrales limites o concentraci3n m3xima permisible se refiere a la concentraci3n de sustancias qu3micas en el aire de los lugares de trabajo, por debajo de cuyo valor casi todos los trabajadores pueden estar expuestos peri3dicamente sin presentar efectos adversos. Que se expresa generalmente en partes del compuesto por un

* OMS - Organizaci3n Mundial de la Salud.

OSHA - Occupational and Safety Health Agency.

ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygiene.

TLV o TWA - Time Level Value o Time Work Activity.

millón de partes de aire (ppm) o bien miligramos del compuesto por metro cúbico de aire (mg/m^3).

Se distinguen tres tipos de valores umbral límite (o concentración máxima permisible).

1.- Valor promedio (TWA), es el promedio de la concentración de Cadmio tomando en cuenta ocho horas de trabajo. Ese valor promedio no debe ser sobrepasado durante ese periodo de ocho horas.

2.- Valor techo (C): es un valor que nunca debe ser sobrepasado durante la jornada de trabajo. Este valor se emplea para compuestos particularmente tóxicos o que tienen efectos carcinogénicos, teratogénicos o mutagénicos.

3.- Valor de exposición corta (STEL) corresponde a una situación intermedia entre los dos valores anteriores, en que los trabajadores pueden estar expuestos por periodos que no excedan de 15 minutos por hora, 4 veces al día por un mínimo de 60 minutos entre cada exposición.

Límites biológicos de exposición ocupacional.

Estos límites o índices expresan la respuesta biológica del trabajador expuesto ocupacionalmente a un agente químico determinado, estos límites se han desarrollado con la finalidad de compensar algunas limitantes de los TLV's, entre las cuales se pueden mencionar, que ciertos agentes químicos pueden ser dañinos a cualquier concentración y que existen campos de controversia respecto a umbrales, como es el caso de los agentes carcinogénicos o mutagénicos.

Estos límites biológicos, se determinan en muestras biológicas tales como: sangre, orina, cabello o uñas. Se expresan en mg del compuesto por Litro o por 100 g de la muestra analizada.

Límites ocupacionales y límites para población general.

Los límites ocupacionales ya sea "valores umbral límite" o bien "límites biológicos", no pueden ser extrapolados a exposiciones de una comunidad en general, al mismo agente químico, ya que en este último caso se encuentran incluidos individuos de todas las edades, diversas situaciones de salud y un tiempo de exposición de 24 horas.

Sin embargo la OMS, ha utilizado la experiencia y la información de las exposiciones ocupacionales para fijar valores aplicables a la población en general.

5.- Efectos Sistémicos del Cadmio.

Efectos respiratorios.

Exposiciones por inhalación aguda a concentraciones de Cadmio por encima de 0.5 mg/m^3 pueden causar destrucción de las células epiteliales del pulmón provocando, edema pulmonar, traqueobronquitis y neumonitis, tanto en el hombre como en los animales. Una sola exposición a Cadmio a un alto nivel puede tener como consecuencia deterioro a largo plazo de la función pulmonar ; exposiciones prolongadas por inhalación a bajas concentraciones también conducen a un descenso de la función de los pulmones y enfisema (49).

Se puede inducir una cierta tolerancia a la irritación de los pulmones por Cadmio en humanos y animales y se pueden recuperar las funciones después que cesa la exposición.

Efectos cardiovasculares.

En diversos estudios se ha observado tanto en humanos como en animales, efectos cardiovasculares por exposición a Cadmio. En estudios con ratas y conejos, la exposición con Cadmio mostró un incremento en la presión sanguínea o lesiones cardíacas (50).

En observaciones hechas a grupos de seres humanos se ha encontrado que algunos arrojan una asociación positiva del daño contra la exposición a este metal, mientras en otros estudios el resultado es negativo o no se encuentra ninguna asociación entre la exposición al Cadmio y la hipertensión (49).

Efectos gastrointestinales.

El tracto gastrointestinal es el órgano blanco para exposición tanto de humanos como de animales a Cadmio por vía oral, en forma aguda y de alto nivel, provocando irritación del epitelio gástrico, lo que a su vez produce náuseas, vómito y dolor de estómago. No se ha observado toxicidad gastrointestinal ni en humanos ni animales a bajos niveles de exposición a este elemento ya sea por vía oral o por inhalación, indicando esto, que los efectos gastrointestinales no son observables a concentraciones de Cadmio en los niveles ambientales(52).

Efectos hematológicos.

Tanto por exposición oral como por inhalación de Cadmio, se puede causar anemia en humanos y animales, ya que su presencia reduce la incorporación de hierro causando este efecto. En observaciones hechas a humanos que han sido expuestos a la toxicidad de Cadmio incorporado a través de la ingestión de alimentos o por inhalación, se ha encontrado que padecen de anemia y que en poblaciones con dieta adecuada de hierro, se puede compensar esta reducción (53)

Efectos músculo esqueléticos.

La exposición de seres humanos a Cadmio ya sea por vía ingestión o inhalación en forma prolongada y a concentraciones que causan disfunción renal, puede conducir también a enfermedad de los huesos, pudiendo ésta consistir en debilitamiento y dolores de los mismos; así también se ha observado que en individuos con una nutrición pobre, este riesgo es mayor. Existen evidencias a través de estudios en animales y humanos que indican que exposiciones crónicas a bajos niveles de Cadmio causan alteraciones en el metabolismo renal de la vitamina D, lo cual puede causar efectos de reblandecimiento de huesos (osteoporosis).- Los componentes de este daño pueden ser la pérdida de calcio y fósforo que unido a daño renal más severo, conduce a la osteomalacia y en algunos estudios empleando ratones se ha podido medir el efecto en huesos previamente a que se presente la proteinuria o las lesiones histológicas de riñón (54)

Efectos hepáticos.

El Cadmio se acumula en el hígado, después de exposición oral o por inhalación, pero hay pocas evidencias de daño al hígado en humanos debidas la exposición a este elemento. Se ha demostrado sin embargo que la exposición por Cadmio puede causar daño al hígado en animales en alta concentración. La resistencia del hígado a la toxicidad de Cadmio oral o por inhalación, se explica en función de la capacidad de este órgano para la síntesis de metalotioneina en cantidad adecuada, ya que actua como secuestrante de todo el Cadmio acumulado. Cuando la exposición es debida a altas concentraciones, no podrá ser capturado por la albumina o las metalotioneinas que se produzcan en el hígado y causa necrosis hepática y a menudo la muerte (53)

Efectos renales.

El riñón es el órgano blanco o el que principalmente se afecta por la toxicidad de Cadmio posteriormente a exposición crónica o intermedia, ya sea por la ruta de inhalación u oral, como se ha podido demostrar mediante numerosos estudios en humanos y animales. Las primeras manifestaciones de daño al riñón son descenso en la reabsorción de la filtración de proteínas de bajo peso molecular, indicando daños a los tubos renales. La producción de proteinuria tubular es un efecto específico del Cadmio en los riñones y se ha observado frecuentemente después de una exposición parenteral aguda en animales (55). Este daño puede identificarse por el incremento de los niveles normales de β_2 -microglobulina en la orina de los afectados, siendo ésta una proteína unida al retinol; así también se puede observar el incremento de otras proteínas de bajo peso molecular (56)

Efectos inmunológicos.

El Cadmio aparentemente no causa sensibilización de contacto después de exposición dérmica en humanos o animales (57) Existen sin embargo evidencias aunque limitadas , de que se producen efectos inmunológicos después de exposiciones a Cadmio por vía inhalación, así se ha observado que en trabajadores expuestos en periodos que van desde 1 a 14 años , se desarrolló un ligero pero significativo descenso en la concentración en sangre de la especie de leucocitos que son reactivos al oxígeno, ésto evaluado en forma comparativa con controles de personas no expuestas (58)

Empleando ratones se ha visto que la exposición por inhalación de Cadmio puede afectar la función inmunológica en forma de supresión de la respuesta inmune - humoral (59) , unido a ésto se produce depresión de la citotoxicidad linfocitaria (60) . Sin embargo la evidencia del efecto del Cadmio con relación a la resistencia de los organismos a infecciones está aun en controversia, ya que a un mismo nivel de exposición puede decrecer la resistencia a infección bacteriana , mientras que se incrementa la resistencia a infecciones vírales (61).

Se han hecho estudios en ratas , ratones y monos para evaluar la capacidad del Cadmio incorporado por vía oral, de afectar la función inmune, ya que no se tienen registros de efectos inmunológicos en humanos por exposición a este metal a través de la vía oral, sin embargo el efecto no es tampoco claro ya que existen informes de elevación en la resistencia a infección (62) e incremento en la mortalidad por leucemia inducida viralmente (63). En la exposición oral a Cadmio se ha encontrado que se provoca la depresión inmunológica humoral de ratones juvenes (64) pero no en ratones viejos (65) , se incrementa la respuesta inmune celular inmediata en monos (66), se

inducen anticuerpos anticelulares en ratones (67) e incrementa la leucocitosis circulante en ratas hembras (52) se presenta efectos estimulativos e inhibitorios tiempo-dependientes(68) ,o no hay efectos (69) en la eliminación natural de la actividad en ratas.

Efectos neurológicos.

Recientes datos , sugieren que la exposición por inhalación de Cadmio puede afectar neuropsicológicamente, y ésto ha sido demostrado mediante estudios de un cierto número de trabajadores que no presentan además problemas renales(70) y otros estudios han encontrado correlaciones limitadas entre niveles de Cadmio en pelo de niños o adultos jóvenes y problemas de comportamiento (71).

Efectos en el desarrollo.

Se tienen pocos datos que indican que, la exposición de Cadmio en las mujeres embarazadas, causen decrecimiento en el peso de los niños al nacer. Se ha demostrado que se desarrollan toxinas por incorporación ya sea por ruta de inhalación, oral o parenteral. A dosis relativamente altas a mujeres embarazadas se producen malformaciones del esqueleto y decrecimiento del peso del feto , debido a que se produce toxicidad placentaria e interferencia con el metabolismo fetal y daños al hígado de éste (72).

Efectos reproductivos.

Cerca de las dosis de Cadmio consideradas como fatales y por incorporación ya sea por vía oral o parenteral, se causa daño testicular en animales machos, pero a niveles menores no se ha visto que se cause toxicidad en humanos o animales. Los efectos reproductivos en animales

hembras, aparecen por encima de los niveles de concentración que causan toxicidad y después de exposición parenteral. Por lo que a concentraciones ambientales, aparentemente no se causa toxicidad reproductiva en humanos.(73).

Efectos Genotóxicos.

Están aun en discusión los datos alrededor de que la exposición a Cadmio incorporado ya sea por inhalación o por vía oral causan aberraciones cromosómicas. Aparentemente no se causan mutaciones en las células germinales o daños cromosómicos después de exposición oral o intraperitoneal de animales, pero si después de exposición subcutánea. Se han encontrado aberraciones cromosómicas en la mayoría de los estudios donde se aplicó Cadmio en cultivos de células de mamíferos y en otros que emplearon cultivos de linfocitos humanos, así como en células de médula ósea después de exposición oral e intraperitoneal en ratones. En resumen el Cadmio parece que tienen la capacidad de alterar el material genético, particularmente los cromosomas en células de mamífero, pero las células germinales aparentemente están protegidas, excepto a altas dosis parenterales (52).

Cáncer.

Son pocos los datos que apoyan que la incorporación por la vía inhalación puede causar cáncer de pulmón en humanos, sin embargo si existen datos de que la inhalación de Cadmio puede causar cáncer pulmonar en ratas. La incidencia de cáncer en próstata y pulmón en trabajadores ocupacionalmente expuestos a Cadmio, se ha investigado empleando cuatro grupos. Se ha encontrado que se da un aumento no significativo de cáncer de próstata. Sobre la incidencia de cáncer de pulmón se ha encontrado una elevación en la frecuencia de su aparición,

pero no en forma significativa y solo en uno de los grupos bajo estudio. Los trabajadores de este grupo habian sido además expuestos a otros cancerigenos ya reconocidos , como es el arsénico y el níquel además de que no se controló el párametro de riesgo asociado al hábito de fumar, sugiriendo que la exposición a Cadmio pudo no haber sido la causa determinante del incremento de cáncer a pulmón (74).

Ningún estudio ha dado evidencias de que la exposición oral de animales o humanos, haya incrementado la incidencia de cáncer. Sin embargo los estudios epidemiológicos disponibles no tienen estimaciones reales de las dosis y así la sensibilidad para detectar efectos carcinogénicos, es limitada.

CAPITULO V

ASPECTOS NORMATIVOS

1.- Algunos aspectos de las recomendaciones internacionales para el Cadmio.

- En América Latina, sólo Argentina y México han establecido límites legales para concentraciones de Cadmio en agua.

- Checoslovaquia tiene límites legales para alimentos, agua, aire y ha prohibido su uso en cosméticos desde enero de 1970.

- La República Federal Alemana estableció límites legales para alimentos, agua, aire.

- Desde enero de 1986, la Comunidad Económica Europea prohibió la comercialización de cualquier cosmético que tenga en su formulación al Cadmio.

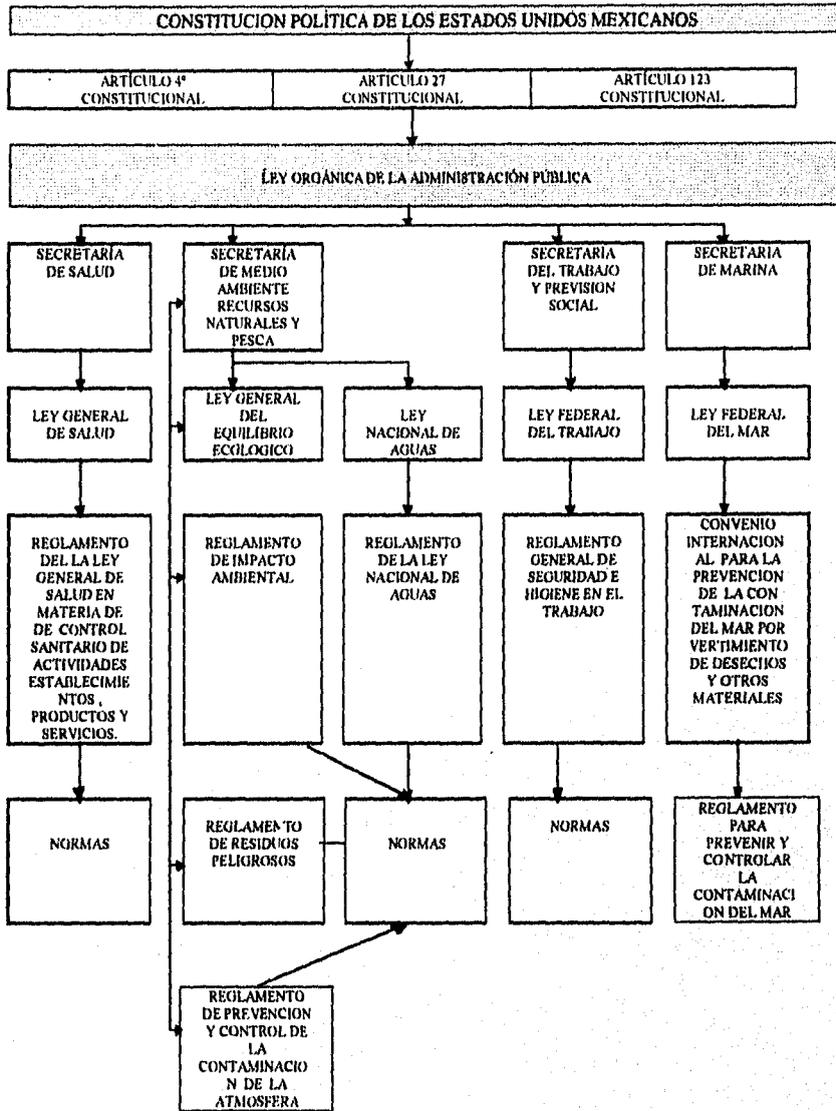
- Suecia ha establecido límites para desechos industriales y ha restringido el uso del Cadmio a solo unos tipos de compuestos, prohibiendo su utilización para fabricación o comercialización de compuestos que tengan Cadmio en su formulación, desde julio de 1980.

- Estados Unidos ha establecido límites más específicos en los varios tipos de materiales o insumos donde el Cadmio puede aparecer como contaminante.

2.- Niveles de competencia, para la legislación alrededor del Cadmio en México.

- - Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.
- - Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.
- - Leyes de las Secretarías Públicas.
- - Reglamentos.
- - Decretos.
- - Normas.

LEGISLACION ALREDEDOR DEL "CADMIO".



3.- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

Se analizarán los artículos 4º (73), 27 y 123; dado que éstos artículos inciden en la normativa existente y potencial del Cadmio, tanto en los aspectos: sanitarios, ecológicos y laborales.

a) El artículo 4º constitucional plasma el derecho a la protección de la salud, señalando que será a través de la "Ley" que se definirán las bases para el acceso a los servicios de salud, estableciéndose la concurrencia de la Federación y de las entidades federativas en la salubridad general; en la fracción XVI del artículo 73 de nuestra Carta Magna crea al Congreso de Salubridad General. Las disposiciones de este Congreso son de cumplimiento obligatorio en todo el país de acuerdo las facultades que la misma ley le confiere

b) El artículo 27 Constitucional establece entre otros conceptos:

- El derecho de la Nación para imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, así como regular en beneficio social el aprovechamiento de los elementos susceptibles de apropiación, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, etc.

- Prevé también, el dominio de la Nación para el aprovechamiento de los recursos naturales y los particulares o sociedades, siempre bajo el amparo de las leyes mexicanas y normas legales relativas a trabajos y obras de explotación.

El párrafo tercero atribuye al Estado la obligación de preservar y restaurar el equilibrio ecológico, "función de alta prioridad, ya que

el hombre debe vivir en un ambiente propicio para desarrollar sus facultades y conservar su salud. La contaminación puede aparecer en el suelo, en el aire y en el agua.

c) El artículo 123 Constitucional en su fracción XV, establece las garantías que deben normar la actividad de los trabajadores para la protección de su salud y vida.

4.- La Ley Orgánica de la Administración Pública Federal,

Esta ley establece las bases de organización de la Administración Pública Federal, Centralizada y Paraestatal.

a) El Artículo 30 en sus fracciones IV y XVI confiere a la Secretaría de Marina , el ejercer la soberanía en aguas territoriales , así como la vigilancia de las costas del territorio, vías navegables islas nacionales y la zona económica exclusiva, organizar y prestar los servicios de sanidad naval.

b) Artículo 32 Bis .- Confiere en sus fracciones II, IV, V, XI, XIV, XVI, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, todo lo concerniente a la conducción de la política nacional en materia de recursos naturales y medio ambiente , y en materia de ecología, el sancionamiento del agua , regulación ambiental del desarrollo urbano y de la actividad pesquera , con la participación correspondiente de otras dependencias y entidades.

c) El artículo 39 de la Ley General de la Administración Pública, confiere a la Secretaría de Salud entre otras atribuciones:

Actuar como autoridad sanitaria y ejercer las facultades en materia de salubridad general que las leyes le confieren al Ejecutivo Federal, a través de "La Ley General de Salud", sus reglamentos y demás disposiciones aplicables y ejercer la acción extraordinaria en materia de salubridad general (fracción XXI).

d) El artículo 40 de esta misma ley otorga en la fracción XI, a la Secretaría del Trabajo, la facultad de estudiar y ordenar las medidas de seguridad e higiene industrial, para la protección de los trabajadores, así como vigilar su cumplimiento a través de su Ley y Reglamento.

5.- Leyes y Reglamentos.

a) Ley Federal del Trabajo, Reglamento General de Seguridad e Higiene .

En la Ley Federal del Trabajo, Título noveno.- Riesgos del trabajo, artículo 512 y 513, se prevé el establecimiento de normas por medio de la "definición de diferentes tipos de padecimientos de origen laboral, incluyendo las intoxicaciones por: absorción de humos, líquidos, gases o vapores de origen químico, orgánico o inorgánico, por las vías digestiva, respiratoria o cutánea".

b) El Reglamento General de Salubridad e Higiene en el Trabajo , Título Octavo , Capítulo I , prevé la obligatoriedad de control sobre el Elemento Cadmio , y los límites máximos permisibles de contaminación para Cadmio , se recogen en la Norma Oficial Mexicana NOM-010-STPS-1994 , "Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo , donde se manejen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral".

en esta Norma se establecen entre otros aspectos importantes ...

- Define el nivel máximo permisible como la concentración máxima ponderada en el tiempo de un elemento o compuesto químico que no debe superarse en la exposición de los trabajadores dando un límite de 0.5 mg/m^3 y como concentración ponderada en el tiempo, 0.2 mg/m^3

se le considera además como cancerígeno de tipo A.2 (cancerígeno para el hombre , basado en evidencias epidemiológicas limitadas) tanto en forma de óxido o como el elemento en sí , dando un nivel de concentración de 0.05 mg/m^3

c) La Ley General de Salud (SSA), en su título séptimo "Efectos del Ambiente en la Salud" en sus artículos 116, 117, 118, 119, 120, 121, marca el alcance que en aspecto normativo tendrá esta Dependencia, a fin de proteger a la salud humana ante los riesgos y daños dependientes del ambiente y la coordinación que para ello se debe dar con la SEDESOL (hoy SEMARNAP). Establece que es la SSA la encargada de: "establecer los valores de concentración máxima permisible para el ser humano de contaminación en el ambiente (agua de consumo humano, criterios para la descarga y tratamiento de agua residual)" y participar en la normativa correspondiente.

Así también establece que será la SSA, la encargada de: desarrollar investigación sistemática y permanente de los riesgos y daños que se originan por contaminación del ambiente y también de vigilar la calidad del agua para uso y consumo humano.

d) El Reglamento de la Ley General de Salud en su Título Primero Capítulo Unico "Disposiciones Generales, define como materia de regulación entre otras: actividades y servicios:

- Aquellas que impliquen riesgo para la salud humana.
- Establecimientos donde se desarrollen entre otros: actividades ocupacionales, aquellas donde se ponga en riesgo la salud de los trabajadores.
- Productos entre otros: agua y hielo; leche y lácteos, carnes y derivados y sustancias tóxicas.

Así en el Título Tercero, Capítulo I, se refiere a agua y en el artículo 213, nos da los límites permisibles, que no podrán ser excedidos para considerar el agua como potable: entre otros parámetros, limita el contenido de Cadmio a 0.005 mg/L de este elemento.

En el Título Cuarto .- Leche, Productos y Derivados de la Leche, Sustitutos e imitaciones. Capítulo I (leche), artículo 248, dice que se considerará contaminada la leche, cuando contenga entre otros a: metales pesados en cantidades que rebasen los límites máximos permisibles establecidos por la Secretaría.

En el Capítulo V, Empacadoras de Carnes Frías, artículo 493, prevé entre otros contaminantes, que los productos cárnicos no deberán contener Cadmio, arriba de los límites que establece la SSA, en la norma correspondiente.

Así también en el Título Sexto.- Productos de la Pesca, en el Capítulo I (Disposiciones Generales), artículo 516 prevé que el pescado debe estar exento de contaminantes; incluyendo a los metales pesados, etc.

En el Título Vigésimo segundo.- Sustancias Tóxicas, -Capítulo único.- Artículo 1218, 1219, 1220, establece la competencia de la SSA para que en coordinación con las demás Secretarías competentes en la materia, emita las normas para prevenir riesgos a la salud de establecimientos, transportes y sitios de disposición final; el establecimiento de límites de concentración máxima permisible para el ser humano de sustancias tóxicas y sus residuos, en el aire, agua y alimentos.

e) La ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), del 28 de enero de 1988, cuya depositaria es actualmente la SEMARNAP establece un sistema integral de concurrencia entre la federación, los estados y los municipios, define la política económica general y regula los instrumentos para su aplicación, estableciendo disposiciones en materia de ordenamiento ecológico; evaluación de impacto y riesgo ambiental; protección de flora y fauna silvestre y acuática, aprovechamiento sustentable de los recursos naturales; prevención y restauración ecológica en materia de aire, agua y suelo; participación social; educación ecológica; medidas de control y seguridad y sanciones.

f) Reglamentos de la LGEEPA

Se han expedido cuatro reglamentos a partir de esta ley.

- Impacto Ambiental (DOF de 7 de junio de 1988).

- Residuos Peligrosos (DOF del 25 de noviembre de 1988).

- Prevención y Control de la Contaminación Generada por Vehículos Automotores que circulan en el Distrito Federal y municipios de su zona conurbada (DOF del 25 de noviembre de 1988).

- Prevención y Control de la Contaminación de la atmósfera (DOF del 25 de noviembre de 1988).

g) Legislación de Aguas Nacionales 1º de diciembre de 1992.- Ley de Aguas Nacionales, actualmente también dentro de la SEMARNAP, y ejercida por el órgano conocido como Comisión Nacional del Agua, precisa como objeto de la Ley, la regulación del uso y aprovechamiento de las aguas nacionales, la preservación de su calidad, dentro de una concepción integral del reuso.

Así a la SEMARNAP compete fijar los criterios ecológicos para establecer las condiciones de descarga y la responsabilidad de otorgar o revocar los permisos de descarga de aguas residuales en cuerpos receptores que sean bienes nacionales, y vigilar por lo que toca al agua, el debido cumplimiento de las leyes en materia ecológica.

h) Convenio Internacional para la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y Otras Materias Acuerdo Presidencial publicado el 30 de enero de 1978

Por este Acuerdo se designó a la Secretaría de Marina como autoridad competente, para el ejercicio de todas y cada una de las funciones contenidas en dicho Convenio

i) Reglamento para Prevenir y Contolar la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y Otras Materias.

Este Reglamento , fue creado para cumplir las obligaciones que se derivan del Convenio citado en el inciso h, como un instrumento necesario para el control de descargas de vertimientos , sujetándose a los principios, requisitos y condiciones que se establezcan para prevenir el daño que se pueda ocasionar al equilibrio ecológico .

En una serie de articulados establece las bases con las que se regulan los vertimientos al mar, estableciendo claramente que se tomarán en cuenta las competencias de otras Dependencias del Ejecutivo Federal tales como ,la SSA la SE y la SEMARNAP , en el Artículo 13, fracciones a y b establece específicamente que como requisito para el otorgamiento de permisos debe considerarse si , las substancia son o no degradables a sustancias inócuas, que por los procesos quimicos, fisicos o biológicos a que hayan sido sometidos previamente , no contaminen ni alteren el sabor de los organismos marinos comestibles , o representen un peligro a la salud humana o a la de los animales domésticos y además , si dentro de las substancias que se permita verter se encuentran vestigios de otras substancias , de las comprendidas en su Anexo I , se señala la cantidad a verter, a fin de calcular la cantidad autorizada.

En este último caso , tenemos comprendido al Cadmio y compuestos de Cadmio.

Normas y Criterios, se cuenta a partir de estos reglamentos con 83 normas técnicas y Criterios Ecológicos (con motivo de la expedición de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el 1° de julio de 1992, las Normas Técnicas Sanitarias expedidas por la SSA, dejaron

de estar vigentes el 15 de octubre de 1993 y se transformaron en Normas Oficiales Mexicanas (NOM) de carácter obligatorio, siempre y cuando hayan sido sustentadas en un análisis costo-beneficio.

Así, existen como normas oficiales mexicanas en materia de aguas, relacionadas con cadmio, las siguientes:

NOM-AA-051-1981 Análisis de agua. Determinación de metales pesados.- método espectrofotométrico de absorción atómica.

NOM-AA-060-1981 Análisis de agua, determinación de Cadmio.- Método colorimétrico de la ditizona.

Y Normas Ecológicas sobre aguas .

NTE-CCA-012-ECO-1993 .- Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales, a cuerpos receptores , provenientes de la industria huleira.

NTE-CCA-005-ECO-1993 .-Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de productos plásticos y polímeros

NTE-CCA-013-ECOL-1993 .-Que establece límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores, provenientes de la industria del hierro y del acero.

NTE-CCA-017 .- Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores, provenientes de la industria de acabados metálicos

NOM-066-ECOL-1994 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de la galvanoplastia.

NOM-069-ECOL-1994 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de componentes eléctricos y electrónicos

NOM-052-ECOL-1993 .-Que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

Normas sanitarias ambientales:

NOM-010-SSAI-1993 .-Salud ambiental. Artículos de cerámica vidriados. Límites de plomo y cadmio soluble.

NOM-011-SSAI-1993.- Salud ambiental. Límites de plomo y cadmio en artículos de alfarería vidriados.

NOM-048-SSAI-1993.- Que establece el método normalizado para la evaluación de riesgos a la salud como consecuencia de agentes ambientales.

Para trabajadores ocupacionalmente expuestos , la Secretaría del Trabajo y Previsión Social ha publicado la siguiente Norma

NOM-010-STPS-1994, Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se produzcan, almacenen o manejen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral.

CONCLUSIONES

A la fecha los estudios e investigaciones de diversas instituciones en todo el mundo a lo largo de los años, han arrojado gran cantidad de información acerca de los efectos de los contaminantes considerados tóxicos ya sea en exposiciones agudas o crónicas, sin embargo es necesario profundizar más en los estudios de exposiciones crónicas de elementos presentes en bajos niveles, esto es respecto a la presencia de los elementos traza.

Las conclusiones de diversos estudios y reuniones internacionales señalan la necesidad de incrementar las investigaciones epidemiológicas por largo tiempo y en un número considerable de individuos, ya que aunque se han identificado algunos metales dispensables como Cd, Hg, As, Se, Ag, Ba y Pb como tóxicos, se desconoce qué efectos pudieran tener otros elementos traza que la actividad humana emite a la atmósfera y la hidrósfera, que aunque no se consideran estrictamente contaminantes, no se sabe qué efectos pueden tener a largo plazo.

Se ha sospechado del efecto cancerígeno que puede tener la exposición prolongada a metales dispensables a bajas concentraciones y largo tiempo, sin embargo la falta de estudios sistemáticos, completos y bien diseñados no ha permitido llegar a conclusiones en este sentido.

En el caso que nos ocupa, las investigaciones más recientes han arrojado resultados muy importantes sobre los aspectos toxicológicos del Cadmio sobre todo en animales y en algunos grupos de trabajadores ocupacionalmente expuestos, razón por la que se han establecido límites en ambiente laboral por las diversas Agencias Internacionales competentes en la materia.

A la fecha México, como se puede ver en la normativa vigente, ha introducido los límites recomendados internacionalmente en ambiente laboral; a nivel de control de ingestión se ha establecido ya como parámetro a vigilar en agua y de hecho está implícito dentro del control de metales para diversos alimentos en la Ley General de Salud.

Sin embargo es urgente que este control se lleve a cabo operativamente, estableciendo una vigilancia ambiental más estricta con los recursos humanos y de equipo adecuados.

Así también, sería deseable, que dentro de las campañas de saneamiento básico ambiental, se incluyera la divulgación de los efectos que causa el Cadmio proveniente de tabaco, en fumadores.

Por otro lado el análisis sistemático de aire e industrias debe ser una actividad rutinaria que sirva para:

1. Señalar la ocurrencia de una contaminación, su carácter e intensidad.
2. Identificar y evitar el origen de la misma.
3. Conocer su tendencia y periodicidad, para evitar o mitigar su presencia .
4. Dar la alarma en casos de aumentos bruscos y peligrosos, del contaminante en el medio ambiente.
5. Actualizar y mejorar el aspecto Normativo.

BIBLIOGRAFIA

1. Valković V. Taylor and Francis. 1975. Trace Element Analysis.
2. Fruton Joseph S, Simmonds Soffia. Bioquímica General 4ª Ed. Omega, S.A. Barcelona 1991
3. Ehlers Victor M, Steel Ernest W. 1966. "Saneamiento Urbano y Rural"
4. Botello Alfonso V. 1982. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. U.A.M. "La Contaminación en el Mar" Ciencia y Desarrollo No. 43 año VIII.
5. Okazaki M. 1987. Pollution Abatement and Control Technologies for Small and Medium Scale Metal Finishing Industry. Industry and Environment Published by the United Nations Environment Programme. April/may/june. Vol 10 No. 2. 23-28 pp.
6. Christensen JJ, Eatough DJ, & Izatt RM. 1975. (6). In: Handbook of Metal ligand heats and related thermodynamic quantities 2nd. revis. expand., New York Basel, Marcel Dekker, Inc. 495 pp.
7. Christensen JJ, Eatough DJ, & Izatt RM. 1975.. In: Handbook of Metal ligand heats and related thermodynamic quantities 2nd. revis. expand., New York Basel, Marcel Dekker, Inc. 445 pp.
8. Behne D. 1980. Problems of Sampling and sample preparation for trace elements analysis in the health sciences. In: Bratter, P. & Scramel, P., ed. Trace elements analytical chemistry in medicine and biology. Proceedings of the International Workshop, Neuherberger, Germany, Berlin, Walter de Gruyter 769-782 pp.
9. Friberg L, Elinder CG, Kjellstrom T, Nordberg GF. 1986 Cadmium and health, a toxicological and epidemiological appraisal. Vol. II, Effects and response. Cleveland, Ohio, CRC Press, 303 pp.
10. Saldivar L. y colaboradores. 1995. Facultad de Química UNAM. Datos experimentales, inéditos.
11. Delves HT. 1982. Analytical Techniques for measuring cadmium in blood In: Poceeding of International works hap on Biological Indicators on Cadmium Exposure Disgnostic and Analytical.

Reliability, Luxemburg, 7-9 julio 1982, Luxemburg, Commission of the European Communities. 1-15 pp.

12. Gesamp. 1984. IMO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution: Report of the fourteenth session, Viena, 26-30 March, Viena International Atomic Energy Agency (Reports and Studies No. 21).
13. Gesamp. 1987. IMO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution Report of the seventeenth session, Rome, Geneva. World Health Organization (Reports and Studies No. 31).
14. Page AL, Bingham FT, & Chang AC. 1981 Cadmium. In: Lepp, N. W. ed. Effect of heavy metal pollution of plants, London, Applied Science, Vol 1, 77-109 pp.
15. Korte F. 1983. Ecotoxicology on Cadmium: general overview. Ecotoxicol, environ. Saf 7: 3-8.
16. Nriagu JO. 1989. A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals. Nature (Lond.) 338: 47-49.
17. Scheuhammer AM. 1987. The chronic Toxicity of aluminium, cadmium, mercury and lead in birds: a review. Environ. Pollut 46: 263-295.
18. Schiller AM. & Boyle EA. 1987. Variability of dissolved trace metals in the Mississippi River. Geochim. Cosmochim. Acta 51: 3273-2277.
19. Boyle EA, Scalter F, & Edmond JM. 1976. On the marine geochemistry of Cadmium. Nature (London), 263: 43-44.
20. Casarett and Doull. Casarett and Coull's Toxicology the Basic Science of Poisos Mc Graw Hill 4^a De. 1991 634-637 pp.
21. Wilson DN. 1988. Cadmium - Market Trends and influences, In: Cadmium 87. Proceedings of the 5th. International Cadmium Conference, London, Cadmium Association. 9-16 pp.
22. Hutton M. & Symon C. 1986. The quantities of cadmium, lead mercury and arsenic entering the U.K. environment from human activities. Sci. total Environ, 57: 129-150.

23. Hutton M. 1983. Evaluation of the relationships between cadmium exposure and indicators of kidney function, London, Monitoring and Assessment Research Center, Chelsea College, University of London 46 pp. (NARC Report No. 29)
24. Nriagu JO. & Pacyna JM. 1988. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature* (London) 333: 134-139.
25. Gesamp. 1985. IMO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution: Report of the fourteenth session, Vienna, 26-30 March, 1984, Vienna, International Atomic Energy Agency (Reports and Studies No. 21)
26. Krell, U. y Roeckner (1988), Model simulation of the atmospheric input of lead and cadmium into the North Sea. *Atmos. Environ.* 22 (2) 375-381.
27. Fleisher M, Sarofim AF, Fassett DW, Hammond P, Shacklette HT, Nisbet ICT, & Epstein S. 1974. Environmental impact of cadmium: a review by the panel of Hazardous Trace Substances. *Environ. Health Perspect.* 5: 253-323.
28. Lindberg SE, Turner RR & Lovett GM. 1982 Process of atmospheric deposition of metals and acids to forest. Annual Meeting of the Air Pollution Control Association, New Orleans, 20 June 1982, Pittsburgh, Pennsylvania, Air Pollution Control Association, 14 pp. (Conference Proceedings 75).
29. Buchauer MJ. 1972. The effects of zinc and cadmium pollution on forest vegetation. *Bull. New Jersey Acad. Sci.* 17(2):42..
30. Yamagata N. & Shigematsu Y. 1970. Cadmium pollution in perspective, *Bull. Inst. Public Health* (Tokyo). 24: 18-24.
31. Eisler R. 1985. Cadmium hazards to fish, wildlife and invertebrates: A synoptic review, Washington, D.C., U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service (Biological Report No. 85).
32. May and Mc. Kinney , 1981, Cadmium , lead , mercury, arsenic, and selenium concentrations in freshwater fish, 1976-77.-National pesticide monitoring program. *Pestic. Monit., J.* 15, 14-38
33. Hardisty MW, Huggins RJ, Kartars. & Sainsbury M. 1974. Ecological implications of heavy metal in fish from the severn. *Estuary. Mar. Pollut. Bull.* 5: 12-15.

34. Roberts TM, Helppeslon PB & Roberts RD. 1976. Distribution of heavy metals in tissues of the common seal. *Mar. Pollut. Bull.* 7: 194-196.
35. Muir DC G, Wagemann R, Grift NP, Nors trom RJ, Simon M. & Lien J. 1988. Organochlorine chemical and heavy metal contaminants in white-breaked dolphins (*Iagenorhynchus albirostris*) and pilot whales (*Globicephala melaena*) from the coast of Newfoundland, Canada. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 17: 613-629.
36. Muskett CJ, & Jones MP. 1980. The dispersal of lead, cadmium and nickel from motor vehicles and effects on roadside invertebrate macrofauna. *Environ Pollut.* 23A: 231-242.
37. Burkett A, Lester P, & Nickless G. 1972. Distribution of heavy metals in the vicinity of an industrial complex. *Nature (Lond.)*. 238: 327-328.
38. Teraoka H. 1989. Impact of atmospheric Trace metals on rice roots. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 18: 269-275.
39. Beyer WN, Pattee. OH, Sileo L, Hoffman DJ, & Mulhern BM. 1985. Metal contamination in wildlife living near two zinc smelters. *Environ Pollut.* 38A: 63-86.
40. Van Hook RI. 1974. Cadmium, lead and zinc distributions between earth worms and sais: potentials for biological accumulation. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 12: 509-512.
41. Ma. W, Edelman Th, Vanbeesum Y, & Jans Th. 1983.. Uptake of cadmium zinc, lead and copper by earthworms near a zinc-smelting complex: influence of soil pH and organic matter. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 30: 424-427.
42. Morgan JE. & Morgan AJ. 1988. Earthworms as biological monitors of cadmium, copper, lead and zinc in metalliferous sais. *Environ. Pollut.* 54: 123-138.
43. *Manual de Toxicología. Secretaría de Salud. México 1993*
44. Cadmium Environmental Aspects. *Environmental Health Criteria* 135. 1992. World Health Organization. 68-75 pp.
45. Shaham J, Rosenboim J, Ophira D, Mikullsky Y, Jucha E, Ribak J. Dept. Occup. Med. Kupat Holim, Tel Aviv, Israel. *Int Arch Ocup. Environ Health (Germany)* 1993 65 (1 Suppl) p S 91-3 ISSN 0340-0131.

46. Liliana Saldivar de R & Martin Luna, Edmundo Reyes, Rogelio Soto and Teresa I. Fortoul. 1991. Environmental Research 55: 91-96.
47. Toxicological Profile for cadmium. U.S. Department of Health & Human Services Public Health Service. Agency for Toxic Substances and disease Registry. Abril. 1993 ATSDR/TP/2/06.
48. Luis A.C.Galvaoy Germon Corey. Cadmio, Serie Vigilancia, O.M.S. , 1987 , Metepec México.
49. Davison AG., Fayers PM, Taylor AJ, et al. 1988. Cadmium fume inhalation and emphysema. Lancet , 663-667.
50. Boscolo P, Carmignani M. 1986. Mechanisms of cardiovascular regulation in male rabbits Chronically exposed to cadmium. Br J Ind Med 43:605-610.
51. Geiger H, Bahner U, Anderes S, et al. 1989. Cadmium and renal hypertension. Journal of Human Hypertension 3:23-27.
52. Borzelleca JF, Clarke EC, Condie LW Jr. 1989. Short-term toxicity (1 and 10 days) of cadmium chloride in male and female rats: Gavage and drinking water . J Am Coll Toxicol 8:377-404.
53. Groten JP , Sinkeldam EJ, Luten JB, et al . 1990. Comparison of the toxicity of inorganic and liver-incorporated cadmium: A 4-wk feeding study in rats. Food Chem Toxicol 28:435-441.
54. Ogoshi K, Moriyama T, Nanzai Y. 1989 Decrease in the mechanical strength of bones of rats administered cadmium. Arch Toxicol 63:320-324.
55. Wang XP, Foulkes EC. 1984. Specificity of acute effects of cadmium on renal function. Toxicology 30:243-247.
56. Bernard A, Lauweerys R. 1989 Cadmiu, NAG activity , and β_2 -microglobulin in urine of cadmium pigment workers. (Letter) Br J Ind Med 46:679-680.
57. Rudzki E., Rebandel P, Stroinski J, et al. 1988. Reactions of cadmium. Contact dermatitis 18:183-184.
58. Guillard o, Lauweerys R. 1989. In vitro and in vivo effects of mercury ,lead, and cadmium on the generation of chemiluminescence by human whole blood. Biochem Pharmacol 38,2819-2824.

59. Graham JA, Miller FJ, Daniels MJ, et al. 1978. Influence of cadmium, nickel, and chromium on primary immunity in mice. *Environ Res* 16:77-87.
60. Krzystyniak K, Fournier M, Trottier B, et al. 1987. Immunosuppression in mice after inhalation of cadmium aerosol. *Toxicol Lett* 38:1-12.
61. Bouley G, Chaumard C, Quero AM, et al. 1982. Opposite effects of inhaled cadmium microparticles on mouse susceptibility to an airborne viral infection. *Sci Total Environ* 23:185-188.
62. Bouley G, Arsac F, Dubreuil A et al. 1984. Natural and acquired resistance of mice to infection by airborne Klebsiella pneumoniae after subchronic intoxication by cadmium administered orally. *Sci Total Environ* 38:55-62.
63. Blakley BR. 1986. The effect of cadmium on chemical- and viral-induced tumor production in mice. *J Appl Toxicol* 6:425-429.
64. Blakley BR. 1985. The effect of cadmium chloride on the immune response in mice. *Can J Comp Med* 49:104-108.
65. Blakley BR. 1988. Humoral immunity in aged mice exposed to cadmium. *Can J Vet Res* 52:291-292.
66. Chopra RK, Prasad R, Sharma N, et al. 1984. Effect of dietary chronic cadmium exposure on cell-mediated immune response in Rhesus monkeys (Macaca mulatta). Role of calcium deficiency. *Arch Toxicol* 56:128-131.
67. Ohsawa M, Takahashi K, Otsuka F. 1988. Induction of antinuclear antibodies in mice orally exposed to cadmium at low concentrations. *Clin Exp Immunol* 73:98-102.
68. Cifone MG, Alesse E, Procopio A, et al. 1989. In vivo cadmium treatment alters natural killer activity and granular lymphocyte number in the rat. *Inmunopharmacology* 18:149-156.
69. Stancey NH, Craig G, Muller L. 1988. Effects of cadmium on natural killer and killer cell functions in vivo. *Environ Res* 45:71-77.
70. Hart RP, Rose CS, Hamer RM. 1989. Neuropsychological effects of occupational exposure to Cadmium. *J Clin Exper Neuropsychol* 11:933-943.

71. Marlowe M, Cossairt A, Moon C, et al. 1985. Main and interaction effects of metallic toxins on classroom behavior. *J Abnorm Child Psychol* 13: 185-198.
72. Holt D, Webb M. 1987. Teratogenicity of ionic cadmium in the wistar rat. *Arch Toxicol* 59:443-447.
73. Mason HJ, 1900. Occupational cadmium exposure and testicular endocrine function. *Hum Exp Toxicol* 9:91-94.
74. Kazantzis G, Lam TH, Sullivan KR. 1988. 1988. Mortality of cadmium -exposed workers. A five-year update . *Scand J Work Environ Health* 14. 220-223.

DOCUMENTOS NORMATIVOS CONSULTADOS

Constitucion Politica de los Estados Unidos Mexicanos

Vigente en 1995..

Ley Orgánica de la Administración Pública.

Vigente en 1995.

Ley Federal del Trabajo.

Vigente en 1995.

Reglamento de Salubridad e Higiene en el Trabajo.

Vigente en 1995.

Ley General de Salud.

Vigente en 1995.

Reglamento de la Ley General de Salud.

Vigente en 1995.

Ley General del Equilibrio Ecológico.

Vigente en 1995.