

Exposición ocupacional a plomo: aspectos toxicológicos

JAIRO TÉLLEZ MOSQUERA*

FLOR MARLEN BAUTISTA**

Resumen

Durante un periodo de 10 meses en 2003, se hizo una investigación documental relacionada con la identificación de las características de los trabajadores colombianos afiliados al Sistema General de Riesgos Profesionales, expuestos laboralmente al metal plomo y sus compuestos. Se recolectaron y analizaron los datos suministrados por 10 Administradoras de Riesgos Profesionales privadas, y la información sobre diagnóstico de saturnismo entregada por la Administradora de Riesgos Profesionales del Seguro Social. Complementario a los datos de la investigación, se describen los indicadores de producción y consumo de plomo y sus compuestos en Colombia y en el mundo. Se hace una revisión teórica sobre los principales aspectos toxicológicos relacionados con la exposición a plomo y sus compuestos, así como las características toxicocinéticas, los mecanismos de daño tóxico y los posibles efectos adversos agudos como crónicos para la salud humana. Por último, se revisan los medios de monitoreo tanto biológico (biomarcadores) como ambiental que permiten evaluar y hacer el seguimiento de la población expuesta a plomo.

Palabras clave: *plomo, toxicología, salud ocupacional, biomarcadores, intoxicación por plomo.*

Summary

For a 10-month period during 2003, a documental research was carried out in order to identify Colombian workers' characteristics affiliated to Professional Risk General System, who are exposed to lead and its components at work. Data provided by 10 private Professional Risk Administrators were collected and analyzed, and also the information on saturnism diagnosis provided by Professional Risk Administrator of Social Security. In addition to research data, lead production and consumption indicators are described for its components, both in Colombia and worldwide.

A theoretical review is made on main toxicological aspects related to lead exposure and its components as well as its toxic-kinetic characteristics, toxic damage mechanisms and possible acute adverse effect regarded as chronic to human health. Finally, we analyzed monitoring media, both biological (biomarkers) and environmental, which would enable us to evaluate and to follow up on population exposed to lead.

Key words: *lead, toxicology, occupational health, biomarkers, lead intoxication.*

*Médico, MSc. Toxicología, Especialista en Salud Ocupacional. Profesor titular, Departamento de Toxicología, Universidad Nacional de Colombia.

**Enfermera, Especialista en Salud Ocupacional, Universidad Nacional de Colombia.

INTRODUCCIÓN

El plomo es un elemento metálico, considerado como un metal pesado, su símbolo químico es Pb, su número atómico 82 y se encuentra en el grupo IV A de la tabla periódica. Tiene un punto de fusión de 328 °C y un punto de ebullición de 1.740 °C, desprende abundantes vapores a partir de los 600 °C. El plomo se encuentra ampliamente distribuido por todo el planeta.

Las fuentes de obtención de plomo pueden ser naturales o antropogénicas. En forma natural se obtiene de la corteza terrestre donde se encuentra presente especialmente en forma de galena, cerusita y anglesita. En forma industrial se obtiene principalmente a partir de los materiales de desecho industrial con residuos de plomo que se recuperan y se funden. Los compuestos orgánicos de plomo pueden ser derivados di, tri o tetraalquilados. Los compuestos orgánicos más importantes, desde el punto de vista industrial, son el tetrametilo y el tetraetilo, este último se introdujo en el mercado como antidetonante para gasolina en los años veinte, para evitar detonaciones prematuras de los motores de combustión interna y mejorar así el octanaje (1, 2, 3).

Este metal, por sus propiedades físicoquímicas, ha sido utilizado por el hombre desde tiempos remotos en diferentes actividades productivas y en numerosos productos comerciales: fabricación de pigmentos, alambres, tubos, acumuladores eléctricos, pinturas, lacas, tintas, soldaduras para envases metálicos de comestibles; en aleaciones, en la formación de la capa vidriosa de ciertos objetos de loza de barro, piezas de alfarería y cerámica; para la protección de rayos X y radiación atómica y como antidetonante para gasolina de automotores; también se usa como material de recubrimiento de tanques y tubería para el almacenamiento y conducción de gases y líquidos corrosivos usados en la manufactura de ácido sulfúrico, refinerías de petróleo, halogenación, sulfonación, convirtiéndose en una fuente muy importante de intoxicación en el ámbito ambiental y ocupacional aun en tiempos modernos (3, 4).

El plomo ya era utilizado por los egipcios en cerámica y fundición de estatuillas 7.000 años a. C. También fue conocido por los romanos, quienes lo extraían y lo utilizaban en diversos usos (5).

1. USOS INDUSTRIALES DEL PLOMO

Son numerosas las aplicaciones que tiene el plomo y sus compuestos en los diferentes procesos industriales, así como en las actividades económicas, ocupaciones y oficios en los cuales el trabajador está expuesto a estas sustancias (tabla 1). Por las anteriores razones y su amplia probabilidad de exposición, sumadas a sus propiedades fisicoquímicas, a sus características toxicológicas y los potenciales efectos adversos que puede producir en la salud de los seres vivos, el plomo es considerado como un xenobiótico de alto riesgo toxicológico.

Tabla 1. Principales actividades económicas y oficios vinculados con la utilización de plomo.

Actividad económica y/o oficio
<i>Minería del plomo.</i> Mineros encargados de la recuperación de productos plumbíferos en yacimientos de zinc, plata y oro.
<i>Fundición y refinación de plomo.</i> Trabajadores de la trituración, fundición, separación de la escoria y preparación de lingotes a partir de concentrados de plomo, desechos y chatarras.
<i>Fabricación de piezas metálicas:</i> alambres, tubos, tipos, perdigones. Vaciado de moldes, corte, pulido de piezas.
<i>Fabricación de acumuladores eléctricos:</i> trabajadores encargados de la fundición y vaciado de rejillas de plomo, mezclado de oxido de plomo, soldadura y empastado de placas.
<i>Industria petrolera:</i> trabajadores involucrados en la refinación del petróleo (eliminación de compuestos de azufre).
<i>Soldadura y desguace:</i> trabajadores que emplean soldadura de acero con revestimiento de silicato de zinc, soldadura de acero galvanizado. Corte con soplete eléctrico de estructuras revestidas con pinturas a base de plomo.
Fabricación de protectores para rayos X y radiaciones atómicas.

En el recubrimiento de estructuras metálicas ambientalmente resistentes, como cascos de buques, tanques de almacenamiento, puentes, vías férreas. En el recubrimiento de tanques y tubería para almacenamiento y conducción de sustancias corrosivas.

En la industria de galvanoplastia.

En la fabricación de vajillas vitrificadas con plomo, vitrales y vasos de cristal.

En reparación de radiadores de automóviles.

Manufactura de plásticos y artefactos electrónicos.

Producción de acero, bronce y latón.

Fabricación de estructuras metálicas.

En elaboración de enlatados para alimentos.

Construcción y mantenimiento de reactores nucleares.

Elaboración de pinturas, lacas y barnices.

Fabricación de tetraetilo de plomo, utilizado como antidetonante para gasolina.

Trabajadores de limpieza de tanques de almacenamiento.

Fuente: Adaptada de referencias 6, 7 y 8.

2. INDICADORES DE PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE PLOMO

2.1 Producción y consumo de plomo en el mundo

Al revisar los indicadores de producción y consumo mundial de plomo, se encuentran los siguientes datos:

- De acuerdo con los datos publicados por la World Bureau of Metal Statistics y datos tomados de ATSDR (9) en la década de los años 90, la producción mundial de plomo alcanzó más de 5.5 millones de toneladas al año, de las cuales 3 millones de toneladas provinieron de fuentes primarias (obtención de plomo utilizando como materia prima mineral de plomo) y más de 2 millones de fuentes secundarias (obtención de plomo a partir de residuos ricos en plomo, por ejemplo fundición de baterías). Estos índices de producción se han mantenido en cantidades similares durante la década de los años 90 (tabla 2).

Tabla 2. Indicadores de producción mundial de plomo según fuente de obtención, toneladas/10.000.

INDICADOR	1980	1990	1996	1997	1998	1999	2000
Metal primario	3.402	3.000	3.064	2.905	2.844	2.837	2.812
Metal secundario	2.056	2.405	3.175	3.114	3.155	3.439	3.743
Secundario/primario	0,60	0,80	1,07	1,07	1,11	1,21	1,33
Minera	3.577	3.150	3.008	3.029	2.994	2.986	2.960
Metal refinado total	5.458	5.405	5.822	6.019	5.999	6.276	6.555
Minera/metal %	65,5	58,2	51,6	50,3	49,9	47,8	45,2

Fuente: referencia 9.

- Cuando se observan los datos de producción de plomo por continentes, se encuentra que el continente americano es el mayor productor de plomo por extracción minera en el mundo, representa el 39.7% del total de la producción mundial por minería (tabla 3, gráfico 1).

- El continente americano también es el mayor productor de plomo en el mundo por producción metalúrgica: representa el 33.9% del total mundial, seguido del continente asiático con el 33.7 % de la producción mundial. Estos dos continentes (América y Asia) producen más de las dos terceras partes del plomo por producción metalúrgica (tabla 4).

Tabla 3. Producción mundial de plomo por producción minera y por continentes. Toneladas/10.000. 1995-1999.

Continente	1995	1996	1997	1998	1999
América	1.047	1.157	1.124	1.146	1.176
Asia	714	819	858	722	659
Europa	380	368	378	354	346
Oceanía	427	475	486	584	647
África	185	189	180	182	182
T o t a l	2.750	3.008	3.076	2.988	2.960

Fuente: referencia 9.

Tabla 4. Producción mundial de plomo producción metalúrgica/continente. Ton/10.000, 1995-1999.

Continente	1995	1996	1997	1998	1999
América	2.081	2.122	2.244	2.166	2.205
Asia	1.471	2.056	2.158	2.177	2.196
Europa	1.823	1.796	1.991	1.844	1.935
Oceanía	243	234	235	206	278
África	141	131	126	128	134
T o t a l	5.759	5.822	6.010	6.277	6.510

Fuente: referencia 9.

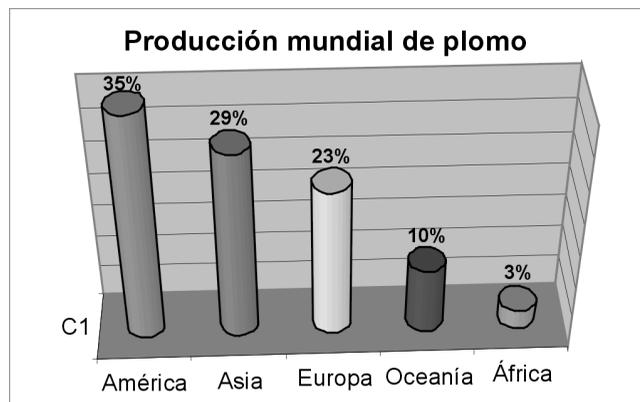
● El continente americano es el mayor productor de plomo en el mundo sumados la extracción minera y la producción metalúrgica, ya que representan el 34.6% del total de la producción mundial, seguido del continente asiático con el 29.2 %. Entre estos dos continentes (América y Asia) producen las dos terceras partes de la producción total de plomo en el mundo (tabla 5).

Tabla 5. Producción mundial de plomo por continentes. Toneladas/10.000. 1995-1999

Continente	1995	1996	1997	1998	1999
América	3.128	3.279	3.368	3.312	3.381
Asia	2.185	2.875	3.016	2.899	2.855
Europa	2.203	2.164	2.369	2.198	2.281
Oceanía	670	709	721	790	925
África	306	320	306	310	316
T o t a l	8.509	8.830	9.086	9.265	9.758

Fuente: referencia 9.

Gráfico 1. Producción mundial de plomo por continentes, 1999



Fuente: referencia 9.

● De otra parte, el consumo mundial de plomo para el año 2000 se calculó en 6.5 millones de toneladas aproximadamente, a expensas de una mayor proporción del plomo obtenido de fuentes secundarias (tabla 6).

Tabla 6. Indicadores de consumo mundial de plomo. toneladas/10.000

INDICADOR	1980	1990	1996	1997	1998	1999	2000
Consumo total	5.402	5.354	5.987	6.014	6.216	6.509	6.446
Secundario %	38,0	45,9	51,1	51,8	52,6	55,0	58,1

Fuente: referencia 9.

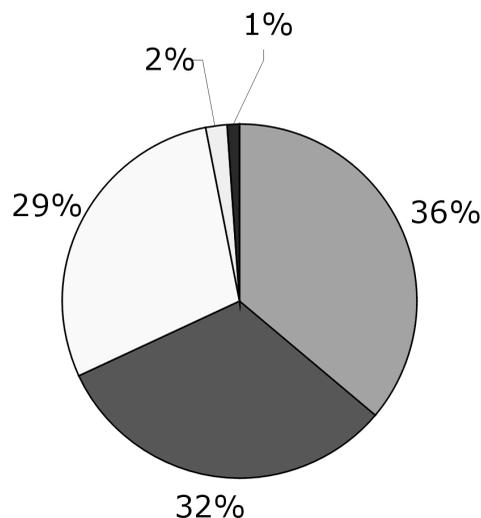
● Al observar el consumo mundial de plomo por continentes para 1999, se encuentra que América es el continente que más consume plomo, seguido del continente europeo. Entre los dos continentes (América y Europa) se consume más de las dos terceras partes del total de plomo producido en el mundo (tabla 7, gráfico 2).

Tabla 7. Consumo mundial de plomo por continentes, toneladas / 10000. 1995-1999.

Continente	1995	1996	1997	1998	1999
América	1.988	1.795	1.770	1.734	2.296
Europa	1.959	1.942	1.968	2.022	2.108
Asia	1.751	1.795	1.770	1.870	1.896
África	112	120	121	132	132
Oceanía	184	74	70	72	77
T o t a l	5.858	5.987	6.014	6.216	6.509

Fuente: referencia 9.

Gráfico 2. Consumo mundial de plomo por continentes, 1999.



Fuente: referencia 9.

2.2 Producción y consumo de plomo en Colombia

La producción y consumo de plomo en Colombia no es importante a nivel mundial. Mientras en 1999 el consumo mundial de plomo en el mundo fue de 6.509/

10.000 toneladas, en Colombia este consumo para el mismo año fue de 0,186/10.000 toneladas, que equivale aproximadamente al 0,002 % del consumo mundial. (tablas 8 y 10). En América Latina y El Caribe, Colombia tampoco es un país importante en producción de este metal; Perú, México y Argentina, son los principales países productores de minerales de plomo en esta región (tabla 9). La extracción minera de plomo en Colombia, se hace principalmente de la mina "El silencio" en el municipio de Segovia en Antioquia, como subproducto de la explotación subterránea del oro. Se han reportado otras minas de extracción de plomo en Colombia, cuya producción no es significativa; estas minas son: Las nieblas en el Quindío, la Equis en el Choco, Marmato en Caldas y el Diamante en Nariño.

Tabla 8. Producción de plomo en Colombia por producto terminado, kilogramos/año, 1998-2001.

Producto	1998	1999	2000	2001
Bloques y lingotes de plomo	354.736	160.200	126.624	130.700
Aleaciones de plomo	854.985	1.009.269	712.061	729.648
Barras y varillas de plomo	---	8.342	12.942	6.430
Láminas de plomo	73.115	44.163	38.600	35.151
Óxidos de plomo (nimio)	1.156.537	652.799	348.650	204.350
Piezas fundidas de plomo	448.993	445.553	424.226	616.062
Producción total	2.888.336	2.320.326	1.663.103	1.722.341

Fuente: referencia 10.

Tabla 9. Producción de minerales de plomo, Colombia, toneladas, 1991-2000.

Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Cantidad producida	331	362	396	477	290	457	375	606	514	166	225

Fuente: referencia 10.

Tabla 10. Consumo de plomo en Colombia por producto terminado, kilogramos/año, 1998-2001

PRODUCTO	1998	1999	2000	2001
Bloques y lingotes de plomo	14.888.297	8.826.387	11.774.242	9.676.607
Aleaciones de plomo	647.832	2.760.054	3.172.838	2.264.292
Barras y varillas de plomo	4.492	4.264	4.471	137.727
Láminas de plomo	556.810	1.164.496	1.487.030	9.125
Óxidos de plomo (nimio)	1.543.853	1.542.895	2.074.176	1.769.197
Piezas fundidas de plomo	--	--	--	19.316

Fuente: referencia 9.

3. EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A PLOMO EN COLOMBIA

Se recolectaron datos sobre exposición laboral a plomo en 10 administradoras de Riesgos Profesionales privadas que funcionan en el país. Al analizar los datos reportados se encontraron como datos sobresalientes los siguientes:

3.1 Empresas con procesos relacionados con el uso de plomo

- Se recibió información de 807 empresas que tienen procesos relacionados con el uso de plomo o sus compuestos.

- De las empresas analizadas el 77% están clasificadas en Clase de Riesgo III; el 18% en Clase de Riesgo V y el 5% en Clase de Riesgo IV, de acuerdo con la exposición a factores de riesgo ocupacional y el peligro que representan para la salud de los trabajadores, correspondiendo a empresas de riesgo medio, máximo y alto respectivamente, por lo que ameritan una vigilancia y control especial (11).

- El 40.3% de las empresas son empresas de litografía, imprenta y tipografía; el 36% son estaciones de servicio para automotores; el 16% son empresas constructoras de torres de petróleo, tanques y elevadores en el proceso de explotación de petróleo; el 1.9% son empresas de galvanoplastia, mientras el 5.8% son empresas diversas entre las que se encuentran las dedicadas a la fabricación de pinturas, lacas y barnices, refinación y explotación de petróleo, fabricación de alambres y telas metálicas, fabricación de acumuladores de baterías para automotores, fabricación de herramientas y herrajes, fabricación de vitrales y galvanoplastia (11).

3.2 Indicadores de trabajadores expuestos a plomo en Colombia

- De acuerdo con la información suministrada por las ARP privadas (11) se reportaron 7.517 trabajadores expuestos a plomo. Más de las dos terceras partes de los trabajadores laboran en estaciones de servicio para automotores y en empresas constructoras de

torres de petróleo, tanques y elevadores en el proceso de explotación de petróleo; una quinta parte laboran en empresas de litografía, imprenta y tipografía; mientras el 11.9% laboran en empresas diversas entre las que se encuentran fabricación de pinturas, lacas y barnices, refinación y explotación de petróleo, fabricación de alambres y telas metálicas, fabricación de acumuladores de baterías para automotores, fabricación de herramientas y herrajes, fabricación de vitrales y galvanoplastia (tabla 11).

- En la muestra de estudio se observa que las personas ocupacionalmente expuestas a plomo en Colombia es una población entre los 25 y 44 años, en su mayoría hombres. (tablas 12, 13, gráfico 3, 4).

- Más de la mitad de los trabajadores laboran en empresas clasificadas en Clase de Riesgo III; seguidos de Clase de Riesgo V y Clase de Riesgo IV (tabla 14).

Los datos detallados se muestran en las tablas siguientes:

Tabla 11. Trabajadores expuestos a plomo según actividad económica. ARP Privadas, Colombia, 2003.

Oficio	Número	Porcentaje
Operario de estaciones de servicio para automotores	2.511	33.4%
Construcción de torres de petróleo, tanques y elevadores	2.486	33%
Imprentas, litografías y tipografías	1.549	21.6%
Actividades de exploración y refinación de petróleo	246	3%
Fabricación de pinturas, barnices y lacas	200	2.6%
Galvanoplastia	198	2.5%
Fabricación de alambres y telas metálicas	112	1.4%
Fabricación de acumuladores de baterías	91	1%
Ensamble, pintura y reparación de automotores	79	1%
Fabricación de herramientas y herrajes	44	0.5%
Fabricación de vitrales	01	0.01%
Total	7.517	100 %

Fuente: referencia 11.

Tabla 12. Trabajadores expuestos a plomo según grupo etáreo, ARP Privadas Colombia, 2003.

Grupo etáreo	Número	Porcentaje
< 18 años	07	0,09%
18 - 24 años	1.276	17%
25 - 44 años	5.157	68,6%
45 - 64 años	1.015	13,5%
> 64 años	62	0,82%
Total	7.517	100%

Fuente: referencia 11.

Tabla 13. Trabajadores expuestos a plomo según género, ARP Privadas, Colombia, 2003.

Grupo etáreo	Número	Porcentaje
Masculino	6.140	81,7%
Femenino	1.377	18.3%
Total	7.517	100%

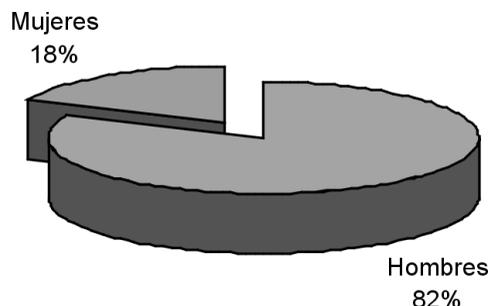
Fuente: referencia 11.

Tabla 14. Trabajadores expuestos a plomo según Clase de Riesgo de la Empresa, ARP Privadas, Colombia. 2003.

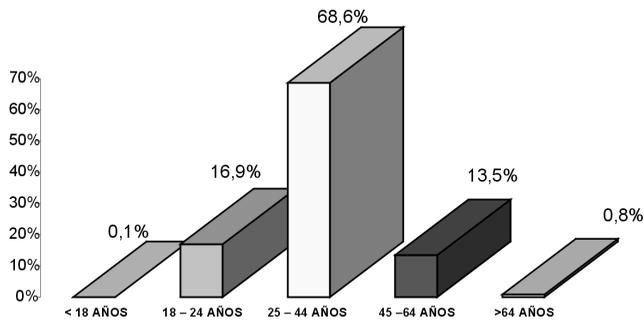
Clase de riesgo	Número	Porcentaje
Clase III	4.139	55 %
Clase V	2.732	36,4 %
Clase IV	646	8,6 %
Total	7.517	100 %

Fuente: referencia 11.

Gráfico 3. Distribución porcentual de la población laboralmente expuesta a plomo en Colombia según género.



Fuente: referencia 11.

Grafico 4. Distribución de la población laboralmente expuesta por grupos etáreos.

Fuente: referencia 11.

3.2 Diagnóstico de saturnismo en Colombia

Se analizaron los datos sobre diagnóstico de enfermedad profesional y saturnismo en el periodo 1998-2002, en trabajadores afiliados a la Administradora de Riesgos Profesionales del Seguro Social. Durante este periodo se diagnosticaron 1.708 enfermedades profesionales, de las cuales el 3,7% correspondieron a saturnismo. La totalidad de los diagnósticos de saturnismo fueron en hombres, la seccional con mayor número de Dx fue el Valle del Cauca con 36 casos (tabla 15).

Tabla 15. Diagnóstico de saturnismo. ARP Seguro Social, Colombia, 1998-2002.

Indicador		1998	1999	2000	2001	2002
Afiliados		3.978.365	3.865.696	3.445.021	3.594.432	3.622.061
Dx enfermedad profesional		439	253	288	404	324
Dx saturnismo		34	18	08	01	02
Afiliados/saturnismo		86/100.000	47/100.000	23/100.000	2.9/100.000	5.5/100.000
Enf. Profesional/saturnismo		7,7%	7,1%	2,4%	0,2%	0,6%
Dx por Seccional	Valle del Cauca	15	11	08	--	0,2
	Cundinamarca	15				
	Antioquia	03	07	--	01	--
	Santander	01	--	--	--	--

Fuente: adaptada de referencia 11.

4. ASPECTOS TOXICOLÓGICOS DEL PLOMO

4.1 Toxicocinética del plomo

Las principales entradas de plomo al organismo son las vías aérea y oral. Por la piel, los compuestos orgánicos pueden absorberse en proporciones que pueden llegar a ser peligrosas. La exposición de origen ocupacional se da básicamente por vía inhalatoria, en labores donde se realiza extracción, tratamiento, preparación y empleo del plomo, sus aleaciones, combinaciones y todos los productos que lo contengan. Las principales fuentes de exposición para la población es el plomo contenido en el polvo ambiental, ocasionado por el uso de gasolina con plomo en automotores y la contaminación ambiental por emisiones industriales (6, 12, 13).

El plomo puede ser inhalado en forma de vapores, humos y polvo fino. Las partículas más grandes pueden quedar atrapadas en distintos lugares del tracto respiratorio y de allí pueden ser eliminadas por medio del moco, de estornudos o tos, o pasar al tracto gastrointestinal al ser deglutidas. Las partículas más pequeñas (<1 µm) penetran en los sacos alveolares de los pulmones y allí son absorbidas y pasan a la sangre o bien, pueden ser eliminadas a través del sistema linfático o por medio de los macrófagos alveolares (3, 4).

El ingreso del plomo por vía oral se da por contaminación de las manos, alimentos, cigarrillos u otros objetos introducidos en la boca, cuando no se obser-

van estrictamente las reglas de higiene personal en los sitios donde se manipula este metal o por empleo de enlatados y utensilios de cocina que lo contienen (2, 4, 14).

Entre los factores que afectan la absorción intestinal de plomo están la dieta y el tamaño de las partículas. En adultos, la absorción es del 10% al 15% y puede incrementarse hasta un 45% en ayuno. Modelos experimentales han demostrado que la disminución en la ingesta de hierro, calcio, fósforo, zinc y vitaminas como la C, E y tiamina, aumentan la absorción del plomo (13).

Una vez que el plomo ingresa al torrente sanguíneo, es transportado a distintos destinos. Estudios cinéticos en el hombre sugieren un modelo de tres compartimientos o grupos cinéticos para explicar la distribución del plomo en el organismo, los cuales tienen diferentes tasas de movimiento. El primer compartimiento es la sangre, aquí la vida media del plomo es de unos 35 días. El compartimiento que contiene la mayor parte del plomo almacenado en el organismo y es cinéticamente más lento está en el tejido óseo, en donde la vida media del plomo es de unos veinte años. El plomo óseo es movilizable y de este modo responsable de la exposición endógena. El compartimiento menor y más lábil es el grupo de los tejidos blandos, en éste, el plomo tiene una vida media alrededor de 40 días (15).

El plomo metálico y sus compuestos inorgánicos no son metabolizados por el organismo, por lo que presentan una elevada acumulación en el organismo. Mientras los compuestos orgánicos son dealquilados en el hígado, donde se transforman parcialmente en plomo inorgánico y principalmente en derivados trialkílicos, estos últimos son considerados como los responsables de los efectos tóxicos de estos compuestos (16).

La eliminación del plomo y sus compuestos se da principalmente por vía urinaria y gastrointestinal. Por vía urinaria se elimina alrededor del 80% del plomo absorbido, en proporción con la concentración sanguínea del metal. El plomo eliminado por heces representa alrededor del 95% del plomo ingerido y que pasa por el tracto gastrointestinal sin absorberse. El plomo excretado por vía biliar es, en gran parte, reabsorbido en el intestino para ser finalmente excretado por vía urinaria. Por exhalación se eliminan principalmente compuestos volátiles como el tetraetilo de plomo. El

plomo puede pasar de la madre al feto por transporte placentario. La leche constituye una vía importante en el caso de transporte del tóxico de la madre lactante al hijo y del ganado lechero al hombre. Otras vías como la saliva, el sudor y las faneras constituyen vías menores para la secreción del metal (2, 6, 15).

4.2 Mecanismos de acción tóxica

Las vías de toxicidad que utiliza el plomo para producir los efectos tóxicos sobre el ser vivo, son:

- *Competencia con elementos esenciales*, especialmente con el calcio y el zinc en sus sitios de inserción alterando procesos enzimáticos y metabólicos. El plomo tiene afinidad por los grupos sulfhidrilos de las proteínas cambiando su forma y función. En sistemas in vitro, el plomo facilita la generación de radicales libres mediada por hierro. Los radicales libres se pueden unir covalentemente a biomoléculas y alterar su función; en el caso de unión a ADN el resultado puede ser una mutación. Al igual que muchos otros metales el plomo puede alterar la estructura de las mitocondrias, con una consecuente disminución en la actividad de la cadena respiratoria (4,13).

- *Acción neurotóxica central y periférica*. A nivel central inhibe la activación de los canales de calcio, provocando una disminución en la concentración intracelular del calcio, alterando la actividad neuronal y la secreción de neurotransmisores. Estudios epidemiológicos han demostrado que la exposición a plomo está asociada a deficiencias psicológicas y neurocomportamentales (12). En el sistema nervioso periférico, el plomo provoca alteraciones de la barrera neurocapilar, con aumento en la presión del fluido endoneural, que lleva a compresión nerviosa, lo que acarrea isquemia, necrosis, degeneración axonal, desmielinización segmentaria y retardo en la conducción nerviosa motora, con depresión del potencial de placa por bloqueo presináptico (2, 12, 15).

- *Daño renal* que se caracteriza por la presencia de inclusiones nucleares, cambios mitocondriales y citomegalia en células del túbulo proximal, cuando la exposición a plomo ha sido corta. En el daño crónico, se presenta fibrosis intersticial, dilatación tubular, atro-

fía de células tubulares y disminución del filtrado glomerular que puede terminar en una franca insuficiencia renal (2, 15).

- *Inhibición de múltiples enzimas.* El plomo inhibe la actividad de la ferroquelatasa, enzima que cataliza la incorporación del hierro dentro de la protoporfirina IX, deprimiendo la formación del grupo hemo. La actividad de la enzima ALA-deshidratasa se inhibe, generando un aumento en la producción de ácido delta-aminolevulinico (ALA) y un aumento de la cantidad de ALA en sangre y de su excreción urinaria. Inhibición de la enzima coproporfirinógeno-III-oxidasa, lo que produce un incremento en la eliminación urinaria de coproporfirina (5, 17). Inhibición de enzimas intraeritrocitarias como la ALA-D y pirimidina -5-nucleotidasa, responsable de la reducción de la degradación del RNA en los reticulocitos en las vías de maduración y de la persistencia de granulaciones basófilas (5,6). Produce una disminución en la concentración plasmática de 1,25-dihidroxitamina D, por deficiencias nutricionales y disminución de la 25-hidroxitamina D-1a-hidroxilasa (secundario a interferencia con el grupo hem) (2, 5, 15).

- *Acciones en el sistema óseo.* Alteración de la homeostasis ósea dada por antagonismo competitivo por los sitios de unión del calcio, alteración en la síntesis de colágeno y sialoproteínas. El plomo precipita como sales insolubles en hueso. La formación de trifosfato de plomo liga el metal al hueso, principalmente en las metafisis de los huesos largos. El plomo depositado se libera durante la desmineralización ósea en los procesos normales de envejecimiento y del embarazo (2, 15).

4.3 Efectos adversos en la salud humana

El plomo es considerado como uno de los mayores contaminantes ambientales de la tierra. No cumple función vital alguna en el organismo humano, ni es biotransformado por el ser vivo, lo que conlleva a su acumulación causando serias alteraciones en muchos órganos y sistemas, particularmente en el sistema nervioso central y periférico, en el sistema renal y en diversos procesos bioquímicos como la síntesis del grupo hemo, el

metabolismo de las porfirinas y otros procesos bioquímicos (2,4).

- *Alteraciones hematológicas.* El principal signo es la anemia microcítica hipocrómica y la presencia de eritrocitos con punteado basófilo (2, 8).

- *Alteraciones gastrointestinales.* La principal alteración es el cólico saturnino que se debe a la absorción de grandes cantidades de plomo. Se caracteriza por dolor abdominal intenso periumbilical que puede originar "abdomen en tabla". En los casos de saturnismo crónico, se puede originar por salida de grandes cantidades de plomo desde los huesos, a causa de infecciones graves, ayuno prolongado o intoxicación severa con etanol (5, 17).

- *Alteraciones del sistema nervioso periférico.* La principal alteración es una neuropatía periférica de predominio motor en los músculos de las extremidades; son bilaterales, indoloras y de evolución progresiva. Los nervios radial y peroneo son los más frecuentemente afectados. Las parálisis que se presentan son: parálisis radial (afecta los músculos extensores de la muñeca y los dedos); parálisis braquial (afecta los músculos deltoides, braquial anterior, bíceps y supinador); parálisis tipo Aran-Duchenne (afecta los músculos de la mano); parálisis peronea (afecta los músculos extensores de los dedos y el pie) (12, 15).

- *Alteraciones del sistema nervioso central.* La encefalopatía saturnina es más frecuente en niños, se caracteriza por disminución del rendimiento escolar, deterioro del aprendizaje, puede llegar a producir cuadros convulsivos refractarios a los tratamientos convencionales. Las alteraciones en el adulto se caracterizan más por un cuadro demencial, cefaleas, trastornos del sueño, trastornos de la visión, ataxia y trastornos del habla (12, 15).

- *Alteraciones renales.* El plomo filtrado por los glomérulos se reabsorbe en los túbulos acumulándose en el epitelio tubular. En los glomérulos se produce una esclerosis hialina originando una glomérulo esclerosis (2, 15).

- *Efectos en el sistema reproductor.* Se han descrito alteraciones en trabajadores expuestos a plomo, como astenospermia, hipospermia y teratospermia (15, 20).

- *Alteraciones teratogénicas.* Las sales de plomo atraviesan la barrera fetoplacentaria produciendo vasoespasmo tanto en los vasos uterinos como en la circulación fetal produciendo un efecto abortivo. La alteración del desarrollo del sistema nervioso central del feto, es una de las principales malformaciones que se asocian con el saturnismo (15, 20).

- *Alteraciones osteoarticulares.* El retardo en el crecimiento pondoestatural, especialmente en niños de poca edad ha sido descrito por diversos investigadores como uno de los efectos adversos más frecuentes, incluso con bajos niveles sanguíneos de plomo. También se han descrito osteoartralgias, presumiblemente secundarios al almacenamiento del plomo en el hueso (2,15)

- *Efectos cancerígenos.* De conformidad con el análisis de estudios epidemiológicos y en animales, la IARC (Agencia Internacional de Investigación en Cáncer, de la OMS) ha incluido al plomo y sus compuestos en sus listados de sustancias carcinogénicas, clasificándolos dentro del grupo 2B, en el que se incluyen todas aquellas sustancias de las cuales no se tienen datos epidemiológicos suficientes, ni adecuada evidencia acerca de la carcinogenicidad humana, pero se dispone de suficientes pruebas de carcinogénesis animal, por lo que son consideradas riesgosas para el hombre (15,18, 20).

4.4 Monitoreo de la exposición y de los efectos del plomo

- *Conceptos sobre biomarcadores*

El monitoreo biológico se usa junto con el monitoreo ambiental para estimar la dosis de un agente tóxico y el riesgo de efectos adversos para la salud de los individuos expuestos. Estos, combinados con la historia ocupacional y un buen examen médico, son útiles en el diagnóstico precoz de la enfermedad de origen ocupacional (19, 20, 21)

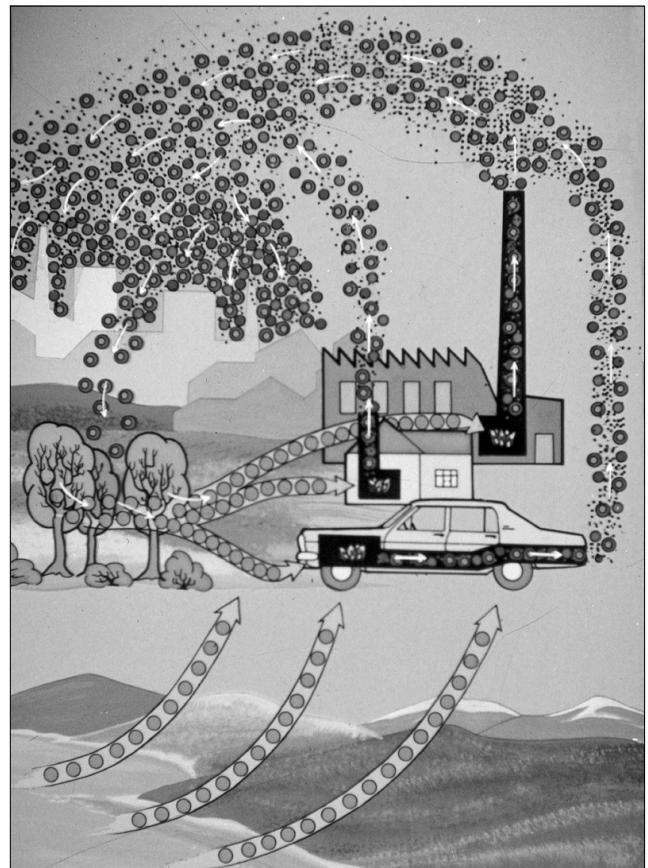
En salud ocupacional, el monitoreo biológico y dentro de éste el uso de biomarcadores es muy utilizado en los programas de vigilancia médica, con un enfoque esencialmente preventivo, ya que proporcionan información cuantitativa del nivel de exposición, dosis absorbida y principales procesos bioquímicos y funciones fisiológicas que se alteran en forma precoz, lo que posi-

bilita intervenir en forma temprana para frenar, retardar o invertir los efectos que se producen en un individuo por la acción de un tóxico (22, 23).

Existen tres tipos de biomarcadores que son los más comúnmente utilizados para evaluar la relación y el impacto que se produce en los seres vivos cuando entran en contacto con una sustancia química: biomarcadores de exposición, biomarcadores de efecto y biomarcadores de susceptibilidad.

Los biomarcadores de exposición son la sustancia exógena, sus metabolitos o derivados, que son medidos en células, tejidos, fluidos corporales o excretas de un organismo y se utilizan para confirmar, corroborar el ingreso de tóxicos al organismo y valorar en forma cuantitativa la exposición (22, 24).

Los biomarcadores de efecto, son las alteraciones bioquímicas, fisiológicas, del comportamiento u de otro tipo, que se pueden medir en un organismo y pueden ser asociadas con un posible deterioro de salud o con una enfermedad. Los biomarcadores de efecto indican



que el tóxico ya ha producido daños en el organismo, por lo cual son utilizados para documentar alteraciones o efectos adversos obtenidos por exposición a químicos (22, 24).

Los biomarcadores de susceptibilidad, son indicadores de la habilidad innata o adquirida de un organismo para responder ante la exposición a una sustancia o sus metabolitos. Sirven para detectar individuos con diferencias adquiridas o genéticas, que los hace más susceptibles que otros de recorrer el camino completo exposición-enfermedad, debido a que tienen más activos los procesos de bioactivación o a que tienen disminuidas sus capacidades de detoxificar, de excretar o de reparar daños (22, 24).

- *Biomarcadores identificados en relación con plomo*

En la actualidad existen varios biomarcadores que permiten identificar y cuantificar la exposición y efectos en la salud inducidos por el plomo; estos biomarcadores se pueden clasificar como biomarcadores de exposición específicos e inespecíficos, biomarcadores de efecto y biomarcadores de susceptibilidad. Entre los más importantes están:

– *Niveles de zinc protoporfirina. (ZPP)* Es un biomarcador de exposición reciente (120 días atrás de la recolección de la muestra). Se puede emplear en sa-



lud ocupacional para el control periódico en trabajadores expuestos como indicador precoz o subclínico de intoxicación por plomo, sin olvidar que este biomarcador puede estar alterado por la presencia de otras entidades patológicas como es el caso de la anemia ferropénica. Su elevación se produce a consecuencia de la inhibición de la enzima ferroquelatasa inducida por el plomo. Adquiere importancia cuando sus niveles están por encima de 250-300 microgramos/100 de sangre y coinciden con valores elevados de plomo en sangre. La ZPP aumenta con niveles de plomo en la sangre por encima de 30 microgramos por decilitro (5).

– *Plumbemia* (concentración de plomo en sangre). Es el biomarcador más empleado en Colombia para evaluar la exposición a plomo. No obstante, la plumbemia es útil para evaluar intoxicaciones agudas ya sean de origen ambiental u ocupacional, pues refleja la dosis media absorbida en las semanas precedentes a la recolección de la muestra sanguínea. En intoxicación crónica, que es el tipo de intoxicación que se da con más frecuencia en ámbitos ocupacionales, pierde su utilidad, ya que los niveles de plomo en la sangre no están necesariamente en correlación con la cantidad de plomo acumulada en el organismo, es decir, no reflejan la exposición real. Se sabe que alrededor del 90% de plomo sanguíneo se localiza en los eritrocitos y que cerca del 94% del plomo corporal se deposita en los huesos. Además, por ser un metal pesado, cabe señalar que éste puede precipitarse y no necesariamente permanecer circulando disuelto homogéneamente en la sangre junto con todos sus componentes. El BEI (Índice de exposición biológica) definido por la ACGIH (American Conference Governmental Industrial Hygienist) es 30 microgramos/100 ml de sangre (25). Se considera que concentraciones superiores a 50 microgramos/100 ml de sangre se asocian con alteraciones clínicas de saturnismo franco; las intoxicaciones graves se han reportado con concentraciones superiores a 120 microgramos/100 ml de sangre (5). Se considera un biomarcador de exposición aguda específico para plomo.

– *Plomo en huesos.* Es un buen marcador de exposición crónica, debido a que allí se encuentra la mayor cantidad de plomo almacenado en el organismo que ha sido expuesto a este xenobiótico, ya que allí se concentra más del 90% de la carga corporal total de plomo. El

plomo se observa principalmente en la diáfisis de huesos largos en forma de líneas radiodensas. Este examen tiene la desventaja de exponer al individuo a radiaciones ionizantes, por requerir fluorescencia de rayos X (5, 13, 27). Se considera un biomarcador de exposición crónica específico para plomo.

– *Niveles de ALA en orina* (ácido delta amino levulínico). Se encuentran elevados porque el plomo inhibe selectivamente la enzima ALA-deshidratasa. Su concentración se eleva a partir de niveles de plomo en sangre de 30 microgramos/100 de sangre. Sus niveles normales se consideran en el rango de 1.5-7.5 mililitros/orina de 24 horas (5). Este se considera un biomarcador de exposición reciente que se puede correlacionar con los niveles de zinc protoporfirina (2).

– *Niveles de coproporfirina en orina* (ácido delta amino levulínico). Se encuentran elevados porque el plomo inhibe selectivamente la enzima coproporfirinogeno-III-oxidasa, lo que produce un aumento en la eliminación de coproporfirina en orina. Su concentración se eleva con niveles de plomo en la sangre superiores a 40 microgramos/100 de sangre. Sus niveles normales se consideran en el rango de 50-160 microgramos/orina de 24 horas (5). Al igual que las determinaciones que tienen que ver son interferencia de la síntesis del grupo hem, éste se considera un biomarcador de exposición reciente que se puede correlacionar con los niveles de zinc protoporfirina y ALA en orina (2).

– *Recuento de hematíes con punteado basófilo*. No es una prueba lo suficientemente sensible para el diagnóstico precoz de la impregnación saturnina, por lo que no es útil para el control periódico de los trabajadores expuestos a plomo. Además, dicha anomalía globular también se halla presente en muchos trastornos hematológicos (anemia hemolítica, talasemia y leucemia) y en exposición a otros tóxicos como zinc, plata, oro, metaglobinizantes orgánicos y benzol, entre otros. Se estiman como patológicos por saturnismo niveles por encima de 2/1.000 (5). Se considera un marcador de efecto inespecífico.

– *Cuadro hemático*. Se produce anemia microcítica hipocrómica moderada, al alterarse la síntesis del grupo hem. La síntesis del grupo hem se presenta por inhibición selectiva que produce el plomo de tres enzimas implicadas en ella: ALA-deshidratasa, coproporfi-

rinogeno-III-oxidasa y ferroquelatasa. Es un biomarcador de efecto no específico en saturnismo (5).

– *Concentración de plomo en orina* (plumburia). En estricto sentido, no es un biomarcador de exposición ni de efecto, sólo es recomendable como indicador biológico para el control de esquemas de quelación en casos de tratamiento farmacológico para eliminar plomo en casos de saturnismo. Es un buen indicador de efectividad de un tratamiento de quelación (2).

– *Concentración de plomo en cabello*. Es una prueba de poca utilidad para cuantificar dosis interna de plomo, ya que es difícil separar el plomo absorbido del plomo incorporado al cabello desde el medio externo (3, 13).

● *Evaluación de la contaminación ambiental por plomo*

– *Valores límites permisibles (TLV)*. Son definidos como aquellos niveles o concentraciones de una sustancia química o un agente físico en el ambiente, por encima de los cuales existe alta probabilidad de que se presenten efectos adversos en la salud del individuo expuesto (25, 26). Los valores límites permisibles han sido divididos en tres clases, estos son: TLV-TWA (Concentración máxima a la cual se puede exponer un individuo durante 8 (ocho) horas de trabajo diario, con un máximo de 40 horas a la semana). TLV-STEL (Concentración máxima a la que no debe exponerse por más de 15 minutos, con un máximo de 4 exposiciones diarias con espacios de 60 minutos entre cada exposición). TLV-CEILING (Concentración que no puede ser excedida en ningún momento de la jornada laboral). Para plomo y sus compuestos, la ACGIH (American Conference Governmental Industrial Hygienist) ha definido los siguientes valores límites permisibles (25):

– *Plomo y compuestos inorgánicos de plomo* (TWA: 0,05 mgr/m³).

– *Arseniato de plomo* (TWA: 0,15 mgr/m³).

– *Cromato de plomo* (TWA: 0,05 mgr/m³).

– *Tetraetilo de plomo* (TWA: 0,1 mgr/m³)

– *Bioindicadores ambientales*. En centros laborales donde se utilice el plomo en el proceso productivo,

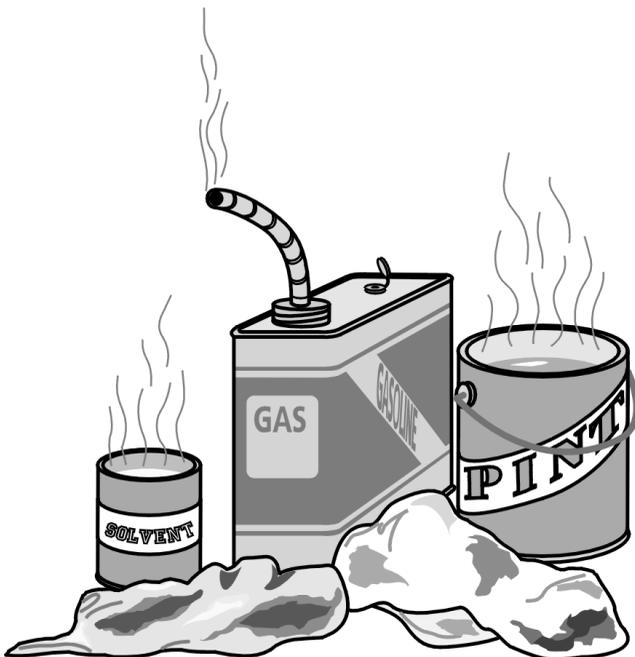
una medición indirecta de la contaminación ambiental por plomo se puede lograr mediante el empleo de biosensores ambientales. Los más utilizados son: niveles de plomo en cultivos de lombrices de tierra; niveles de plomo en zetas (champiñones); niveles de plomo en sangre, placenta y leche de ganado vacuno (28).

DISCUSIÓN

El plomo y sus compuestos son sustancias que han sido señaladas como xenobióticos de alto riesgo toxicológico para los diferentes componentes del medio ambiente, especialmente para los seres vivos, incluyendo el hombre. Específicamente en el ser humano se han señalado efectos tóxicos potenciales en múltiples sistemas orgánicos entre los que se destacan efectos adversos neurotóxicos, genotóxicos, hematotóxicos y en el sistema reproductor. Igualmente se han descrito diferentes medios diagnósticos que sirven como indicadores biológicos y ambientales, que permiten hacer un monitoreo y evaluación tanto en el ambiente de trabajo como en el organismo de la población expuesta a estos xenobióticos.

Desde el punto de vista ocupacional, el plomo es empleado en múltiples procesos productivos y, por tanto, la probabilidad de exposición de la población laboral es alta.

Los datos recolectados en las entidades colombianas que afilian los trabajadores al Sistema de Riesgos Profesionales, permiten observar un aparente subregistro en el diagnóstico de patologías relacionadas con la exposición a plomo y sus compuestos, en aparente contradicción con lo reportado por diferentes estudios realizados en el país sobre toxicidad de estas sustancias. Por ejemplo, al comparar el estudio realizado por Varona (29) sobre diagnósticos de saturnismo en trabajadores afiliados al Instituto de Seguro Social en el periodo 1987-1993, se encontraron 1.048 casos diagnosticados de saturnismo, con un promedio de 150 diagnósticos anuales, la información suministrada por la ARP Seguro Social, muestra que en el periodo de 1998-2002, solamente se diagnosticaron 63 casos de saturnismo, con un promedio anual de 12.6 casos diagnosticados. Esta situación debe llamar la atención de las entidades gubernamentales de vigilancia y control en el área específica de riesgos profesionales, para que se implementen en nuestro país sistemas de vigilancia epidemiológica adecuados que permitan monitorear los xenobióticos caracterizados y clasificados como de alto riesgo toxicológico. En el caso específico del plomo y sus compuestos, la investigación científica y la literatura nacional e internacional sobre el tema, permiten contar con los elementos suficientes para diseñar e implementar intervenciones que protejan a los individuos en los centros laborales dentro del marco de los programas de salud ocupacional y de vigilancia epidemiológica.



BIBLIOGRAFÍA

1. ALBERT Lilia, *Curso básico de toxicología ambiental. OPS/OMS*, México, Edit. Limusa, 1998, pp. 105-121.
2. TÉLLEZ Jairo, "Metales pesados: mercurio, plomo y cromo", en *Aspectos toxicológicos de plaguicidas y metales pesados*, Gutiérrez, Téllez, Patiño. Memorias, Departamento de Toxicología, Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Colombia, 2003.
3. LAUWERYS R., *Toxicología industrial e intoxicaciones profesionales*, versión en español de la 3ª ed., Barcelona, Masson S.A., 1994, pp. 175-203.
4. PEÑA Carlos E., DEAN E. CARTER y AYALA Fierro Félix, *Toxicología ambiental: evaluación de riesgos y restauración ambiental*, 2001, The University of Arizona, pp. 48-60.
5. LADRÓN DE GUEVARA J. Moya Pueyo V. "Plomo y sus compuestos", en *Toxicología médica, clínica y laboral*, Ed. Interamericana-McGraw-Hill, 1995, pp. 231-248.
6. World Health Organization. "Environment health criteria 165. Inorganic lead", Geneve, 1995.
7. SORIA M. L., REPETTO G., REPETTO M., "Revisión General de la Toxicología de los metales", en *Toxicología Avanzada*, 8. Ed. Díaz de Santos, Madrid, España, 1997, pp. 293-358.
8. PINZÓN Manuel R. "Saturnismo", en *Enfermedades Profesionales. Protocolos para su diagnóstico*, Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, República de Colombia, Sociedad Colombiana de Medicina del Trabajo, 1997, pp. 151-180.
9. www.confemetal.es/uniplom/estadisticas.htm
10. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, DANE, *Producción y consumo de productos terminados*, Colombia. 1998-2001.
11. BAUTISTA F. M., *Caracterización de la población ocupacionalmente expuesta a plomo en Colombia*. Trabajo de grado, especialización en Salud Ocupacional, Facultad de Enfermería, Universidad Nacional de Colombia, diciembre 2003.
12. URIBE M. Urrea E., "Neurotoxicología y neurología ocupacional". Bogotá 2000. <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsast/e/fulltext/neuroocu/>
13. DÍAZ F., COREY G., "Evaluación del riesgo por exposición a plomo", en *Curso de autoinstrucción en evaluación de riesgos*, Perú 1999. www.cepis.org.pe/tutorial/
14. RODRÍGUEZ Julieta, "Efectos del plomo en la salud de los adultos", en Conferencia Internacional, *El plomo en América: estrategias para la prevención*, Instituto Nacional de Salud Pública, México, 1996, pp. 75-83.
15. GOYER Robert, "Toxic Effects of Metals. Lead", en Casarett and Doull's, *Toxicology*, fifth edition, New York, McGraw Hill, 1996, 703-709.
16. BLACKBURN K., Derosa Ch. Stara J., *Derivados Alquílicos de Plomo. Efectos sobre la salud y el ambiente*, Environmental Protection Agency (EPA) - Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. OPS/ OMS. Meltepec, México, 1988.
17. CÓRDOBA D., HENAO S., "Plomo", en Córdoba D. *Toxicología*, 4ª ed., Bogotá, Manual Moderno, 2000, pp. 276-290.
18. INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. (IARC). *Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*, Lyon, october, 1996.
19. FRIBERG, L., "Biological monitoring of toxic metals", en *Scand J work Environ Health*, 1993, 19 Suppl 1. pp. 7-13.
20. DOMINGO, J., "Metal - induced developmental toxicity in mammals: a review" en *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 1994, 42: pp. 123-141.
21. HOWSON C., Hernández-Ávila M., Rall D., *El plomo en América: estrategias para la prevención*, Instituto Nacional de Salud Pública, México, 1996.
22. INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY. "Bio-markers and Risk Assessment: Concepts and Principles", en *Environmental Health Criteria 155: World Health Organization*, Geneva, 1993.
23. WORLD HEALTH ORGANIZATION, "Biomarkers and Risk Assessment: Validity and Validation", en *Environmental Health Criteria 55*, Geneva, 2001.
24. CEPIS/OPS, *Curso de autoinstrucción en Evaluación de Riesgos*, Perú, 1999, www.cepis.org.pe
25. AMERICAN CONFERENCE GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS, *TLVs and BEIs. Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices*, Cincinnati, E.U., 2002.
26. CAPÓ Martí M., "Contaminación atmosférica", en *Principios de ecotoxicología*, McGraw-Hill Interamericana. Madrid, España, 2002, pp. 99-124.
27. TÉLLEZ Jairo, "Toxicidad crónica por plomo en niños trabajadores de talleres de metalmecánica", en *Tribuna Médica*, 1987, 10:32-34.
28. CAPÓ Martí M. "Contaminación Terrestre", en *Principios de ecotoxicología*, McGraw-Hill Interamericana, Madrid, España, 2002, pp. 57-76.
29. VARONA M., *Panorama epidemiológico de la exposición ocupacional y ambiental a plomo en Colombia, 1987-1993*, Instituto Nacional de Salud, Bogotá.