

Ecotoxicología y acción toxicológica del plomo

Recibido el 18 de septiembre de 2006

ANTONIO L. DOADRIO VILLAREJO¹
Académico de Número de la RANF

RESUMEN

Se realiza una revisión de la presencia del plomo en las cadenas tróficas, a partir de sus fuentes de contaminación, tanto naturales como antropogénicas, su metabolismo en el ser humano, así como de los efectos tóxicos que producen las distintas especies de plomo, su interés como contaminante y su tratamiento.

Palabras clave: Plomo.—Toxicidad.—Contaminación.

ABSTRACT

Lead ecotoxicology

This work is a revision of the presence of lead in the nutritional chains, from its sources of contamination, their metabolism, as well as of the poisonous effects that produce the different lead species, their interest like polluting agent and its treatment.

Key words: Lead.—Toxicity.—Pollution.

¹ E mail: adoadrio@raf.es

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE INTERÉS BIOLÓGICO

El plomo, en las cadenas tróficas, está presente en dos grupos de especies químicas, las inorgánicas, de mayor trascendencia y, las orgánicas, con características diferentes. Las especies inorgánicas, dentro de las cadenas tróficas, están constituidas principalmente por Pb metal, los óxidos y una única especie iónica, el catión divalente Pb^{2+} . Las especies orgánicas son habitualmente las alquiladas¹.

El Pb^{2+} , soluble en agua en forma de bicarbonato, está presente en las aguas de bebida. Una vez absorbido, por su característica de ácido blando, forma complejos con ligandos biológicos, preferentemente con átomos dadores de azufre, siendo el aminoácido preferido la cisteína, con el cual forma un complejo estable. El Pb metal y el PbO, en forma de partículas, se encuentran en la atmósfera y son fuentes continuas de contaminación.

De las especies orgánicas, las que más interés han suscitado son el tetraetil y tetrametil Pb, componentes de las gasolinas y que se lanzan a la atmósfera en forma de haluros en un proceso de arrastre provocado por los motores con derivados alquílicos de cloro o bromo, o bien directamente en las descargas de combustibles. Estas especies son liposolubles y fácilmente absorbibles, acumulándose en glóbulos rojos y pueden atravesar la barrera hematoencefálica.

PRINCIPALES COMPUESTOS DE PLOMO (1, 2)

Óxidos de plomo

El óxido de plomo(II) PbO es estable y se usa en pigmentos y en la manufactura de esmaltes vítreos y vidrios cerámicos. Existe en dos formas cristalinas, una amarilla y otra roja. El óxido Pb_3O_4 es un óxido mixto de Pb(II) y Pb(IV), de color rojo utilizado en pinturas (minio) y el óxido de Pb(IV), de color chocolate, es muy estable y oxidante, empleándose en síntesis orgánica, tinción y pirotecnia, entre otros usos. Son bastante insolubles, a excepción del minio.

Haluros de plomo

Son poco solubles. El PbCl_2 se usa como pigmento o como soldador y fundente.

Oxosales

Las principales oxosales con riesgo tóxico son: el nitrato $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, el sulfato PbSO_4 , el cromato PbCrO_4 , y el carbonato básico de plomo $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$. El nitrato, que es soluble en agua, se emplea como mordiente, en técnicas de grabado y en explosivos, principalmente. Tanto el sulfato como el carbonato son insolubles en agua y son pigmentos blancos, utilizados en pinturas y plásticos (blanco de plomo). Además, el sulfato en forma de sulfato tribásico $3\text{PbO} \cdot \text{PbSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, se emplea como estabilizante del PVC. Por último, el cromato, también insoluble, es un pigmento amarillo usado en pinturas y plásticos.

Compuestos orgánicos

Los de mayor interés toxicológico son los derivados alquílicos de plomo (IV), teraetilo, dietilo, tetrametilo y dimetilo, empleados como antidetonantes de gasolinas, cuyo uso va disminuyendo por la imposición de las gasolinas sin plomo. Son liposolubles y volátiles y se descomponen lentamente, con formación de Pb.

PRESENCIA EN LA NATURALEZA: BIODISPONIBILIDAD Y BIOMOVILIZACIÓN

El plomo es muy abundante en la corteza terrestre (13 ppm) y con una buena distribución geográfica, muy homogénea, lo que le hace estar muy biodisponible.

La incorporación de plomo a las cadenas tróficas es abundante, ya que su biomovilización es muy buena a partir de sus minerales, especialmente la galena PbS , constituyendo una fuente de contami-

nación natural muy importante, y que supone que el ser humano haya estado en contacto con este metal desde tiempos remotos.

La biomovilización del plomo se puede representar en el siguiente esquema:



Es necesario, en este caso, la actuación de dos agentes atmosféricos, el oxígeno y el dióxido de carbono, ya que el primer ataque con O_2 , conduce a la formación de la especie PbSO_4 , muy poco soluble en agua, lo que es remediado por el posterior ataque del CO_2 , que reacciona con el sulfato de plomo para producir el bicarbonato de plomo, muy soluble, y que se incorpora a las cadenas tróficas a partir de su disolución en las aguas continentales donde está presente en forma iónica Pb^{2+} .

FUENTES DE CONTAMINACIÓN

Las fuentes de contaminación pueden ser naturales o antropogénicas, como es habitual en estos metales tóxicos.

El aporte de plomo a la fuente natural de contaminación es debida fundamentalmente al proceso de biomovilización a partir de sus depósitos naturales, al propio proceso de erosión de las rocas y al vulcanismo.

Se pueden distinguir tres tipos de fuentes antropogénicas:

Estacionarias. Debidas a la minería, el refinado y fundición de metales y a otros procesos industriales.

Móviles. Uso de las gasolinas con plomo en vehículos a motor.

Químicas. Por contaminación de fertilizantes, plaguicidas y desechos orgánicos.

También, se pueden clasificar las fuentes antropogénicas según su uso en:

Uso industrial. Fábricas de baterías, de vidrio, de pinturas y barnices; imprentas; minería; vertidos y desechos.

Uso doméstico. Pinturas; conservas (soldaduras de plomo); red doméstica de cañerías; revestimientos vitrificados (PbO); baterías de coches; combustión de gasolinas y humo de tabaco.

Uso agrícola. Fungicidas, herbicidas y pesticidas ($Pb_3(AsO_4)_2$).

El plomo está muy presente por tanto en las cadenas tróficas, siendo probablemente el metal de mayor interés toxicológico. Sus usos son muy antiguos, ya que desde el año 7.000 a.C. era utilizado por los egipcios en cerámicas. Los babilonios lo emplearon en sus jardines colgantes como impermeabilizantes y los romanos realizaron extracciones masivas del metal.

Su intensivo uso en la fabricación de contenedores de alimentos, aditivo de vinos, pinturas y barnices, fabricación de vidrio, baterías o como antidetonante de gasolinas, entre otras muchas aplicaciones, junto a los peligros que supone su manufactura y fundición, y su presencia en la red doméstica de agua potable, han convertido al plomo en un metal de alto riesgo tóxico.

CICLO NATURAL DEL PLOMO

Un esquema de este ciclo lo podemos ver en la Figura 1, en la que se puede apreciar cómo la incorporación del plomo a las cadenas tróficas tiene lugar tanto por la hidrosfera como por la litosfera y por la atmósfera.

BIOCONCENTRACIÓN DE PLOMO

El plomo puede ser bioconcentrado por animales marinos y dar lugar a intoxicaciones de tipo accidental. Los peces depredadores, mariscos, almejas, entre otros, son capaces de concentrar este metal presente en las aguas hasta en factores superiores a 100.000.

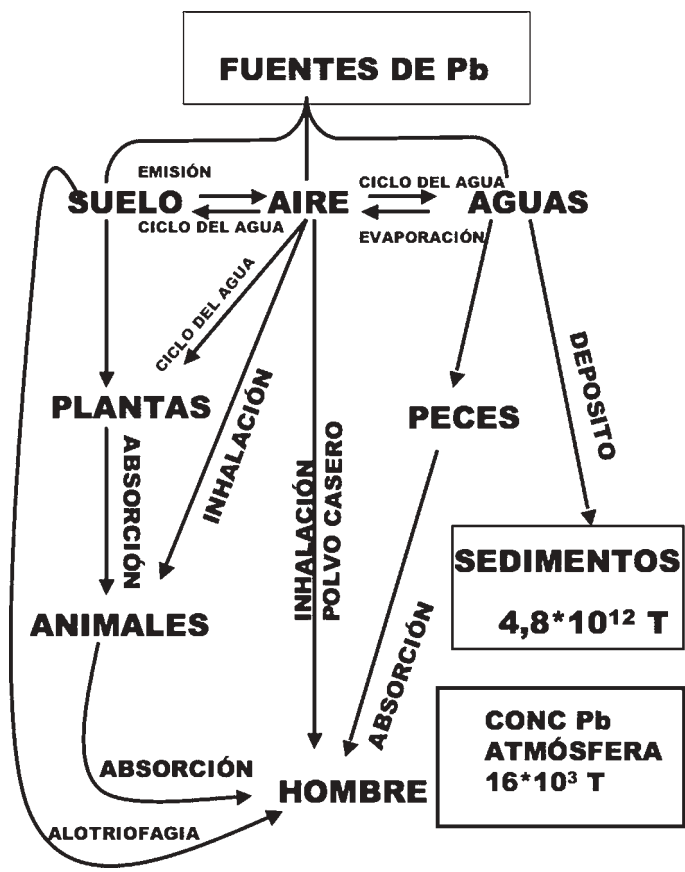


FIGURA 1. *Ciclo natural del plomo.*

METABOLISMO DEL PLOMO (3, 4, 5)

El plomo se absorbe por todas las vías: gastrointestinal, respiratoria y dérmica. En la Figura 2 se muestra un esquema del metabolismo del plomo en el ser humano.

Las especies inorgánicas son bastante absorbibles vía digestiva, dependiendo de su mayor solubilidad. Por vía respiratoria, la absorción debe ser en polvo y en forma soluble. Por su parte, los compuestos orgánicos liposolubles se absorben por las tres vías, lo que les hace potencialmente peligrosos.

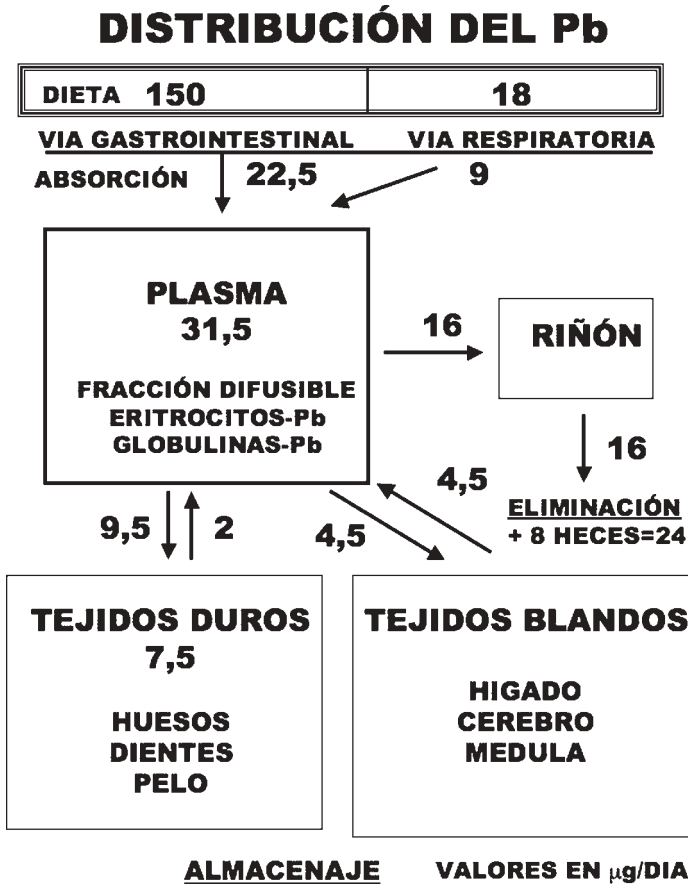


FIGURA 2. *Distribución del plomo en el ser humano.*

La absorción media por vía oral es de un 10%, mientras que la respiratoria puede llegar hasta el 50%, lo que la hace hasta cinco veces más eficaz.

Se estima que la absorción diaria de plomo es de 31,5 µg, de los que 16 se eliminan por riñón (24 µg total se eliminan contando con los 8 de las heces), distribuyéndose 9,5 en tejidos duros y 4,5 en blandos aproximadamente. De la fracción de tejidos, 2 µg diarios revierten a plasma desde los tejidos duros. El plomo se almacena principalmente en huesos, sustituyendo al calcio en la hidroxipatita, donde se almacena en forma no tóxica.

El contenido de plomo en tejidos depende en gran medida de la dieta. Una adición de lactosa o maltosa a aquélla hace disminuir la concentración de plomo en tejidos duros y blandos significativamente. En la Tabla I se muestra el contenido de plomo en algunos tejidos y la influencia de una dieta con lactosa y maltosa.

TABLA I. *Contenido de Pb en tejidos y la influencia de la dieta*

• **CONTENIDO Pb TEJIDOS (en µg/g)**

Órgano	Conc. Normal	Intox. Pb Inorg.	Intox. Pb Org.
HUESOS	0,67-8,59	☒ 5,6-17,6	7,9
HÍGADO	0,04-0,28	1,8-8	2,3-3,4
RIÑÓN	0,02-0,16	☒ 0,6-5,5	0,79
CEREBRO	0,01-0,09	0,24-1,2	☒ 0,8-1,9

• **INFLUENCIA DIETA**

Tejido	Dieta Pb 20 µg/g	Adición Lactosa	Adición Maltosa
SANGRE	9,8 µg/mL	7,7 µg/mL	7,8 µg/mL
HÍGADO	1,26 µg/g	0,17 µg/g	0,17 µg/g
RIÑÓN	1,01 µg/g	1,4 µg/g	0,9 µg/g
FÉMUR	7,4 µg/g	3,8 µg/g	3,3 µg/g

TOXICOLOGÍA DEL PLOMO

Los efectos tóxicos del plomo dependen en gran medida de su concentración en sangre y del tipo de población, tal como se muestra en la Tabla II. La primera manifestación toxicológica del plomo es un anemia, ya que impide la formación de la hemoglobina, como vemos en la Figura 3. En dosis más elevadas, el plomo da lugar a manifestaciones neurológicas, pudiendo llegar a encefalopatías mortales.

TABLA II. *Efectos tóxicos según su concentración en sangre y tipo de población*

Conc. Sangre	Efectos salud	Población
>40 $\mu\text{g}/\%$	ANEMIA	NIÑOS
>50 $\mu\text{g}/\%$	ANEMIA	ADULTOS
50-60 $\mu\text{g}/\%$	DISFUNCIÓN ENCEFÁLICA	NIÑOS
60-70 $\mu\text{g}/\%$	DISFUNCIÓN ENCEFÁLICA	ADULTOS
60-70 $\mu\text{g}/\%$	ENCEFALOPATÍAS	NIÑOS
>80 $\mu\text{g}/\%$	ENCEFALOPATÍAS	ADULTOS

La toxicidad bioquímica del plomo se manifiesta en el ciclo de formación de la hemoglobina (Figura 3), inhibiendo la actuación de tres enzimas: AAL sintetasa, AAL dehidrasa y hemosinetasa. La consecuencia es la no formación de la hemoglobina, con eliminación de tres metabolitos por orina: AAL, PBG y PPIX, que pueden ser identificados y servir de indicadores de la intoxicación de plomo.

INTOXICACIÓN POR PLOMO

Intoxicaciones agudas

Son muy poco frecuentes. Se producen por ingestión de sales solubles o inhalación de vapores o polvos. Es un cuadro que evoluciona con lentitud, ya que el plomo no es cáustico. Produce vómitos con sialorrea de sabor metálico y dolores de vientre con estreñimiento, para después desarrollar el saturnismo.

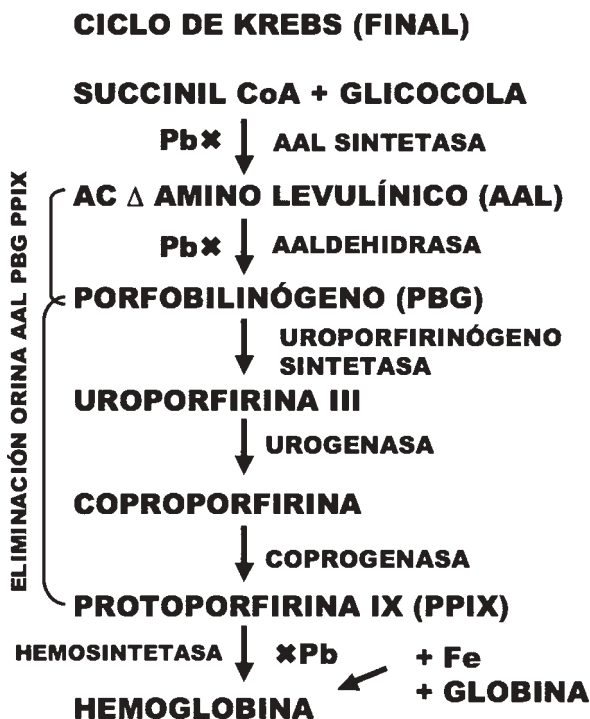


FIGURA 3. *Inhibición del ciclo de formación de la hemoglobina por el plomo.*

Intoxicaciones crónicas de plomo inorgánico (6, 7, 8)

La intoxicación crónica de plomo o saturnismo presenta un cuadro clínico caracterizado por alteraciones orales, con pigmentaciones en las encías; gastrointestinales (cólico saturnino); hematológicas con anemia microcítica; parálisis motora, que afecta principalmente a los miembros y que se recuperan muy lentamente; alteraciones renales, que son muy intensas y con lesiones tubulares por acumulación de plomo en el glomérulo, que actualmente son reversibles y la formación de la pseudogota saturnina con dolores en articulaciones, sólo en casos muy graves. Además, el plomo es abortivo y provoca malformaciones fetales, ya que atraviesa la barrera placentaria.

La encefalopatía saturnina es muy frecuente en la población infantil, provocando una disminución del rendimiento escolar, con

retraso en el proceso de aprendizaje e irritabilidad, llegando a la letargia en casos graves y a episodios convulsivos. En el adulto provoca un cuadro clínico de demencia, parecido a la demencia arteriosclerósica; sensación de fatiga, irritación, trastornos del sueño, cefaleas, alteración en la visión, ataxia y trastornos del habla.

Intoxicaciones de los derivados alquílicos de plomo

El cuadro clínico de una intoxicación por los derivados metílicos y etílicos de Pb(IV) está caracterizado por una anemia y por neuropatías periféricas, afectando al sistema nervioso central, como la encefalopatía saturnina.

Intoxicaciones ocupacionales

Afecta a pintores; trabajadores de fundiciones, de fábricas de baterías; mecánicos, por el empleo de gasolinas como desengrasantes; empleados de gasolineras; guardias urbanos y población infantil por el polvo urbano, constituyendo los patios de los colegios una fuente de absorción masiva de plomo. Hay que prestar especial atención al transporte de plomo en las ropas de los trabajadores, ya que puede afectar a todo el entorno familiar.

EL PLOMO COMO CONTAMINANTE ENERGÉTICO

El plomo que se origina a partir de la combustión de los automóviles se introduce en el ser humano con partículas de igual o menor diámetro de 1 μm en la región interior del pulmón, y una vez en sangre, se distribuye a todos los órganos (Figura 2). Al igual que otros contaminantes, puede viajar a grandes distancias por acción del viento, depositándose en regiones lejanas a su foco de contaminación, lo que le hace ser un contaminante universal.

El control del nivel atmosférico de plomo en las grandes ciudades es tan importante que se le ha fijado como contaminante criterio, llamados así porque fueron objeto de estudios de evaluación publi-

cados en documentos de criterios de evaluación de la calidad del aire. Los niveles urbanos de plomo son de 5 a 50 veces superiores a los de áreas rurales (9).

El método de análisis de referencia para el plomo es el de Absorción Atómica (Real Decreto 717/1987, *B.O.E.* 135, 6/6/1987 y Directiva Europea 30/99).

TRATAMIENTO DE LA INTOXICACIÓN POR PLOMO (10, 11)

La intoxicación de plomo es tratada por la queloterapia, empleando EDTA en dosis de 50 mg/Kg/día, vía venosa o intramuscular, dividido en dos dosis el primer día; el BAL en dosis de 4 mg/Kg cada 4-6 horas, vía intramuscular en 30 dosis, o Penicilamina en dosis de 250 mg/1,7 m³ cada 6-8 horas vía oral, en períodos no superiores a seis meses. Hay que efectuar diuresis previa para evitar neuropatías y complementar con suplementos vitamínicos del complejo B y con hierro.

PREVENCIÓN

Hay que evitar el empleo de plomo en contenedores de alimentos y en la conducción de agua potable; no usar pigmentos exfoliables como pintura de interiores; fomentar las dietas ricas en leche y calcio, que es un antagonista del plomo; controlar por las autoridades el contenido en plomo en alimentos y aguas de bebidas; motivar a los niños el lavado de las manos y que no utilicen juguetes que contengan plomo absorbible y asumir el riesgo que supone la intoxicación crónica de plomo por consumo de carne de caza, ya que los perdigones contienen plomo.

Se deben realizar controles analíticos periódicos en la población expuesta a polvo o humos de plomo. Niveles mayores de 40 µg/mL en sangre exigen la retirada del trabajador del lugar de exposición.

Como medidas preventivas en los trabajadores hay que motivar el lavado de manos, comer fuera del trabajo y el cambio de ropa de trabajo.

Los individuos con perdigones alojados deben someterse a revisiones cada tres meses.

CONCLUSIONES

El plomo tiene una gran presencia en las cadenas tróficas, siendo la fuente natural su principal aporte.

El ser humano ha estado en contacto con el plomo desde tiempos remotos, y por ello ha elaborado un control homeostático, almacenado principalmente al plomo en los huesos. Esta retirada del plomo plasmático, para ser incorporado a la hidroxiapatita, puede resultar peligrosa, ya que en caso de un déficit de calcio se rompe la estructura del mineral para verter calcio a plasma, pero también sale plomo y otros metales que han sustituido isomórficamente al calcio, con riesgo de intoxicación aguda.

El plomo, como tóxico ocupacional, afecta a diferentes profesiones, como pintores, impresores, trabajadores de fábricas (especialmente de baterías), mineros, etc., y produce enfermedades profesionales que afectan a la calidad de vida, debiendo prestar especial atención a las trabajadoras embarazadas por sus efectos abortivos.

El plomo es también un tóxico doméstico, ya que está presente en pinturas, barnices, esmaltes, vidrios, red de conducción del agua potable, polvo doméstico, etc., por lo que se tendrá que poner especial cuidado con la población infantil.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) BRUCE KING, R. (1997): Encyclopedia of Inorganic Chemistry. Ed. John Wiley and Sons. Sussex.
- (2) Properties of Inorganic Compounds (1997): CRC Press.
- (3) DALLY, S.; DUVELLEROY, M.; CONSO, F. and FOURNIER, E. (1980): Simulation d'intoxications chroniques: l'exemple du plomb. *Archives des maladies professionnelles*. 41: 129.
- (4) AUFDERHIDE, A. C. and WITTMERS, L. E. (1992): Selected aspects of the special distribution of lead in bone. *Neurotoxicology*. 13: 809.
- (5) RABINOWITZ, M. B.; WETHERILL, G. W. and KOPPLE, J. D. (1976): Kinetic analysis of lead metabolism in healthy humans. *J. Clin. Invest.* 58: 260.

- (6) STRASIMIROVA, R.; IVANOVA, S.; PETKOVA, V.; METAKIEVA, M.; DICEVA, C. and CEPILOV, I. (1977): Kam uvrezdanijata na stomasno-crevnija trakt u rabotetite v kontakt s olovo. *Higiena I zdraveopazvane*. 20: 224.
- (7) ALBAHARY, C. (1985): L'erythropathie saturnine chronique. *Nouvelle presse medicale*. 58: 470.
- (8) YULE, W. (1992): Review neurotoxicity of lead. *Child Care Health Dev*. 18: 321.
- (9) <http://www.mambiente.munimadrid.es/contamiweb.html>.
- (10) O'CONNOR, M. E. (1992): CaEDTA vs CaEDTA plus BAL to treat children with elevated blood lead levels. *Clin. Pediatr*. 31: 386.
- (11) WEGMANN, K. V. (1992): Chelation therapy to treat lead toxicity in children. *Min. Med*. 75: 25.