

### 3.4. EFECTOS PARA LA SALUD POR PLOMO

Germán Corey

#### 1. FUENTES DE CONTAMINACION DEL AIRE

El plomo se encuentra en forma natural abundantemente en la corteza terrestre bajo la forma de diversos minerales. Las actividades mineras e industriales movilizan tales depósitos y causan la presencia ambiental de múltiples compuestos inorgánicos y orgánicos de plomo que se distribuyen ampliamente en suelo, aire, agua y alimentos y, además, en la flora, la fauna y el organismo humano.

En sus formas naturales el plomo tiene poca importancia como fuente de contaminación ambiental. En cambio, puede ser introducido al ambiente por la actividad humana en cualquier momento durante los procesos de minería, fundición, procesamiento, uso, reciclado y disposición final. Las principales emisiones antropogénicas de plomo hacia el ambiente son primeramente hacia el aire -el cual es el mayor receptor inicial de este metal-, mediante actividades mineras (fundiciones) e industriales y por la combustión de vehículos automotores. Desde el aire el plomo se distribuye en prácticamente todos los componentes ambientales; es un contaminante de alta ubicuidad.

De las emisiones antropogénicas de plomo hacia el aire, especialmente en ámbitos urbano-industriales, la combustión de la gasolina que contiene aditivos de plomo representa el principal aporte; entre el 50 y 90% del plomo emitido al aire en dichos ámbitos proviene de este tipo de fuente. El segundo lugar de importancia lo ocupa la fundición primaria de plomo. Luego le siguen las diversas y heterogéneas actividades industriales que en sus procesos emiten cantidades variables de plomo hacia el aire, y también hacia aguas y suelos.

#### 2. DINAMICA AMBIENTAL

El plomo en sus formas naturales no tiene una cinética ambiental importante, mientras no sea ampliamente removido por el hombre. Los compuestos antropogénicos que contaminan el ambiente, presentan en cambio una distribución y movilización amplias en prácticamente todos los componentes ambientales. Los compuestos de plomo responsables de la contaminación ambiental son en su mayor parte (90%) compuestos de tipo inorgánico. En los ámbitos urbano-industriales el plomo se presenta en concentraciones elevadas y de interés para la exposición humana, tanto en el aire como en los alimentos.

La mayor parte del plomo en el aire, 60-70%, se presenta bajo la forma de partículas finas, dentro de la fracción respirable inferior a 10  $\mu\text{m}$  de diámetro. Las formas químicas frecuentemente emitidas por las diversas fuentes son haluros, óxidos, sulfuros, sulfatos y carbonatos de plomo; no obstante, los compuestos predominantes en la atmósfera son los sulfatos. En las zonas afectadas y sus vecindades la distribución y concentración de estos compuestos en el aire van a depender del tipo y distribución de las fuentes emisoras -por ejemplo, fijas y móviles-, de las condiciones meteorológicas y de las distancias a la(s) fuente(s) emisora(s).

Las concentraciones de plomo en aire muestran variaciones también según las áreas donde se miden. El contenido natural promedio de plomo en la atmósfera es de 0,5-0,6  $\text{ng}/\text{m}^3$  en zonas alejadas de los asentamientos humanos. Los niveles de plomo atmosférico aumentan a medida que se aproximan las mediciones a las ciudades y son mayores mientras mayores sean éstas. En ciudades pequeñas el valor habitual es de 0,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En ambientes urbano-industriales mayores los niveles varían de 1-10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En sectores urbanos vecinos a vías de gran tránsito se sobrepasan los 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pueden ser 2 a 3 veces más altos en las partes centrales congestionadas de las ciudades que en sus periferias residenciales. En zonas vecinas a fundiciones se puede llegar a 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Dado que el medio primario de exposición al plomo es entonces el aire, en la Figura 1 se presentan las rutas ambientales potenciales de distribución y transporte del plomo atmosférico hacia el organismo humano, lo que permite dar una idea de la importancia del aire en la cinética ambiental del metal y la diversidad de alternativas que condiciona para su desplazamiento en el ambiente y para alcanzar los principales receptores/acumuladores de este metal.

El depósito (precipitación) del plomo atmosférico en las aguas representa una fuente de contaminación de la flora y la fauna. Los contenidos naturales de plomo en agua varían de 0,5 a 1  $\mu\text{g}/\text{litro}$ . En aguas contaminadas por el hombre los niveles pueden variar ampliamente sobrepasando a veces el valor de 50  $\mu\text{g}/\text{litro}$  agua potable establecido por la OMS. Las formas habituales del plomo en agua son carbonatos y sulfatos, que tienden a ser insolubles en ella pero que son bioacumulados por organismos acuáticos.

El plomo depositado en el suelo proviene principalmente del aire y es responsable del contenido de plomo en el polvo de las calles y de los hogares. El suelo también se contamina por el escurrimiento de residuos industriales líquidos contaminados. Puede el plomo eventualmente pasar del suelo a las aguas o reingresar al aire.

En la flora, el plomo puede ingresar a los organismos (agua) o depositarse sobre ellos (aire). Esto tiene interés en la medida que la flora tenga valor alimentario. El plomo ingresa también a muchos organismos animales, especialmente acuáticos, aves y mamíferos, en quienes puede acumularse en altas concentraciones.

Existen otras localizaciones del plomo en el medio humano, pero no obedecen tanto a una cinética ambiental, sino a acciones del hombre que lo ubica en ellas y que eventualmente juegan un papel importante en la exposición humana y como contaminantes ambientales: plaguicidas con plomo en terrenos agrícolas, cerámica vidriada artesanal, latas de conserva con soldadura de plomo, pinturas, tabaco y cosméticos.

### 3. TOXICOCINETICA

La exposición humana al plomo ocurre ante el plomo presente en el aire a través de la vía respiratoria a nivel de los alvéolos pulmonares y al plomo presente en aguas y alimentos, a través de la mucosa intestinal. La piel representa una vía de exposición muy restringida, de interés sólo ante el contacto con compuestos orgánicos del metal, especialmente en ámbitos ocupacionales.

La absorción en el alvéolo pulmonar es del orden del 30-50% de la cantidad que llega al árbol respiratorio. De la cantidad que ingresa a la vía digestiva se absorbe del 10-15% en adultos y un 50% en niños; el resto se elimina con las heces.

Las partículas con diámetro superior a 10  $\mu\text{m}$  son retenidas a lo largo del árbol respiratorio y en general se degluten; las que miden entre 2 y 0,5  $\mu\text{m}$  son las que alcanzan el alvéolo y que mejor se absorben. Aquellas que tienen diámetro inferior a 0,5  $\mu\text{m}$  son removidas por los mecanismos de depuración (macrófagos).

La vía de exposición, el tamaño de la partícula, el tipo de compuesto, así como su solubilidad, determinan el grado de absorción del plomo hacia la sangre. En la solubilidad influyen el tamaño de la partícula (inversamente proporcional) y la naturaleza fisicoquímica del compuesto. Otros factores importantes que condicionan su ingreso al organismo son la edad, estado nutricional y fisiológico, la integridad de las mucosas en donde ocurre la absorción y la ventilación pulmonar según la actividad física. En general el ingreso es mayor en los niños a través de todas las vías y, a nivel pulmonar, en fumadores y en situaciones de hiperventilación.

El principal aporte al nivel de plomo sanguíneo en poblaciones generales no ocupacionalmente expuestas lo constituye el plomo ingerido a través de, primero, alimentos, luego del agua potable y también de las secreciones del árbol respiratorio que se

degluten; en los niños el plomo aportado mediante la ingestión de tierra/polvo puede ser significativo en algunas circunstancias. El segundo principal contribuyente al nivel del plomo en sangre es el plomo inhalado. En comunidades industrializadas la contribución relativa del plomo en aire a los niveles de plomo en sangre varía de 20-50%.

El plomo absorbido se distribuye por la sangre hacia diversos órganos y tejidos, manifestando una elevada preferencia por los huesos, que son su principal "órgano blanco" y en donde se deposita la mayor parte de la dosis absorbida (90-95% en adultos y 70-75% en niños). El resto se distribuye de preferencia en hígado, riñones, músculos estriados y piel.

El plomo traspasa fácilmente la placenta y el feto repite en general el esquema materno de distribución del plomo. El traspaso placentario se inicia en la semana 12 de gestación y aumenta progresivamente con el desarrollo fetal. También atraviesa la barrera cerebral, pero el cerebro no acumula plomo de manera significativa.

El plomo inorgánico absorbido no sufre biotransformación dentro del organismo humano. Su eliminación se hace como tal muy principalmente por la orina, luego por las secreciones intestinales (bilis), por los fanéreos y por el sudor.

La vida media del plomo en el organismo humano es variable, pero de larga duración. Valores aproximados para la sangre, tejidos blandos y huesos son, respectivamente, de 36 días, 5 semanas y 20-27 años.

#### 4. TOXICODINAMICA O EFECTOS TOXICOS

El mecanismo tóxico del plomo está dado por tres modalidades: una es compitiendo con los metales esenciales -especialmente el calcio y el zinc- en sus sitios de inserción; otra es mediante su afinidad por los grupos sulfhidrilos (-SH) de las proteínas, lo que significa alteración de la forma y de la función de ellas, y dado que numerosas proteínas -entre ellas diversas enzimas- poseen grupos -SH, las alteraciones fisiológicas pueden ser muy generalizadas en el organismo; finalmente, también actúa alterando el transporte de iones esenciales.

Su poder inhibidor de numerosas enzimas se constituye en el fundamento de los diversos efectos tóxicos que se reflejan en la clínica y el laboratorio. De esto, la expresión bioquímica y clínica más ampliamente reconocida y estudiada es la alteración de la síntesis del grupo hemo, en el proceso hematopoyético.

Numerosos tejidos y parénquimas son afectados por el plomo. Uno

de los sistemas afectados de mayor interés es el nervioso central, en donde el daño por el plomo en niños genera alteraciones psicológicas y conductuales. El daño a las neuronas es directo y se acompaña de un déficit importante en su metabolismo energético. En el sistema nervioso periférico se produce desmielinización segmentaria y degeneración axonal; la polineuropatía difusa resultante puede evolucionar a parálisis de algunos nervios.

Hay evidencias de que el plomo puede tener efectos carcinogénicos, genotóxicos y teratogénicos en el hombre.

## 5. POBLACIONES EXPUESTAS

Las poblaciones expuestas al plomo se clasifican en poblaciones ocupacionalmente expuestas y en poblaciones generales no ocupacionalmente expuestas.

La exposición ocupacional se presenta en general en trabajadores adultos y en medios mineros e industriales en donde no se adoptan medidas para reducir la exposición; genera intoxicaciones agudas y crónicas clásicas que se expresan a través de la anemia y daños de parénquimas específicos. Es frecuente en el medio latinoamericano que en este tipo de exposición participen niños y miembros del grupo familiar, cuando se efectúan actividades con plomo de tipo doméstico artesanal. La exposición en los trabajadores es especialmente a través de la vía respiratoria a compuestos inorgánicos presentes en el aire; la exposición ocupacional en los grupos familiares ocurre tanto a través de la vía respiratoria como a través de la digestiva.

La exposición no ocupacional de poblaciones generales ocurre en grado variable en todos los individuos y en todos los grupos de edades, genera preferentemente intoxicaciones crónicas, afectando diversos parénquimas. Se destaca el daño del sistema nervioso de los niños y el daño fetal. La población general está expuesta al plomo primordialmente a través de la vía digestiva (alimentos y aguas contaminadas), luego por los aportes del aire contaminado. Posteriormente participan en grado variable otras fuentes de exposición ya señaladas.

Los grupos identificados como de mayor riesgo de exposición a concentraciones peligrosas de plomo son los trabajadores expuestos, los niños menores de 5 años y, a través de la exposición materna, el feto.

La contaminación de aguas para consumo humano en general se reduce significativamente mediante el tratamiento en las plantas. El riesgo para la población general surge cuando los depósitos y la red de distribución han sido construidos con plomo y las aguas son blandas o de pH bajo.

El plomo presente en el suelo (polvo) representa riesgo en la medida que puede ser incorporado al aire y ser inhalado, o bien, en el caso de que sea ingerido, lo que es frecuente en niños pequeños.

El principal problema de exposición especialmente de poblaciones urbanas, radica en el plomo presente en el aire y en el plomo presente en los alimentos. Si bien, la vía de exposición más importante en la población general es la digestiva, uno de los más grandes factores que inciden en la exposición de éstas al plomo, ha sido la incorporación de aditivos de plomo a la gasolina. Se ha observado que cada vez que se ha reducido en ésta el contenido de tales aditivos ha ocurrido una disminución paralela de los niveles de plomo en aire y en el ambiente en general, así como en la sangre de las poblaciones.

## 6. EFECTOS

El plomo es un agente tóxico que se acumula progresivamente en el organismo humano, lo que condiciona que el cuadro clínico de intoxicación sea, en la mayoría de los casos, de instalación lenta.

Las manifestaciones clínicas de las intoxicaciones por plomo son variables, según la vía de ingreso, la cantidad absorbida, el tiempo de exposición, las características propias del individuo expuesto, y si el tipo de exposición es ocupacional o no ocupacional.

Debido a la variedad e inespecificidad de los síntomas y signos de la intoxicación plúmbica, la identificación adecuada del cuadro clínico resulta difícil en ausencia del dato sobre exposición al plomo. Este se facilita en el caso de trabajadores en actividades de riesgo; es complejo, en cambio, en la población general.

Las manifestaciones clínicas pueden ser agudas o crónicas, en general de carácter sistémico. Las intoxicaciones agudas no son muy frecuentes y se producen de preferencia en trabajadores y, con cierta frecuencia, en niños.

Las intoxicaciones que se pueden presentar en la población general, salvo situaciones de contaminaciones masivas, en general suelen ser de carácter crónico. En la población ocupacional es frecuente encontrar tanto intoxicaciones agudas como crónicas muy características.

La intoxicación crónica constituye, en resumen, la situación más frecuente y, con mucha probabilidad, el problema epidemiológico de mayor importancia.

Un aspecto relativamente reciente que incide en la clínica de las intoxicaciones por plomo corresponde a los cuadros subclínicos de la intoxicación, producidos por concentraciones relativamente bajas de plomo en el ambiente o causados por plomo proveniente de fuentes ambientales atípicas o insospechadas bajo un proceso de exposición permanente y a largo plazo. Tales condiciones pueden provocar alteraciones en ausencia de los síntomas y signos clásicos de la intoxicación por plomo. Este fenómeno se da de preferencia en la población general y el daño neuropsicológico en niños es un ejemplo de ello.

Aun cuando el plomo es un tóxico sistémico, clínicamente predomina la expresión del daño en el sistema hematopoyético y en el sistema nervioso.

Con altos niveles de exposición, el plomo produce encefalopatía, efectos gastrointestinales, anemia, nefropatía y anomalías electrocardiográficas; también causa aborto espontáneo y disminución de la fertilidad en hombres. Estos hallazgos generalmente se ven sólo en trabajadores expuestos y en niños. Los cuadros agudos se observan de preferencia en personas adultas ocupacionalmente expuestas y en general simulan un proceso abdominal agudo. La intoxicación aguda en niños se manifiesta generalmente como una encefalopatía difusa inespecífica.

La exposición a dosis bajas altera la síntesis del grupo hemo y el metabolismo de la vitamina D, producen efectos neuroconduccionales en niños, retraso en el desarrollo fetal e hipertensión arterial en el adulto. Los cuadros crónicos se pueden presentar potencialmente en todos los grupos poblacionales, dependiendo de las condiciones de exposición; las expresiones neurológicas crónicas en poblaciones infantiles se han estado detectando cada vez con mayor frecuencia.

En el feto y en los niños menores de cinco años el plomo atraviesa fácilmente la barrera hematoencefálica, dada su inmadurez morfológica y funcional en esta etapa de la vida, causando una encefalopatía difusa. En el adulto es excepcional que esto ocurra a menos que las concentraciones del plomo en la sangre sean muy elevadas.

El plomo causa anemia por alteraciones en la síntesis del grupo hemo, componente de la hemoglobina. La afinidad del plomo por los grupos sulfhidrilos (-SH) en el sitio activo de varias de las enzimas que entran en la formación del hemo, da lugar a su inhibición con el subsecuente incremento de los productos precursores y la dificultad final de incorporar el hierro dentro del hemo. Algunas de estas modificaciones bioquímicas se han utilizado como procedimientos para evaluar la exposición al plomo y apoyar el diagnóstico clínico de la intoxicación; las más importantes son la inhibición de la deshidratasa del ácido

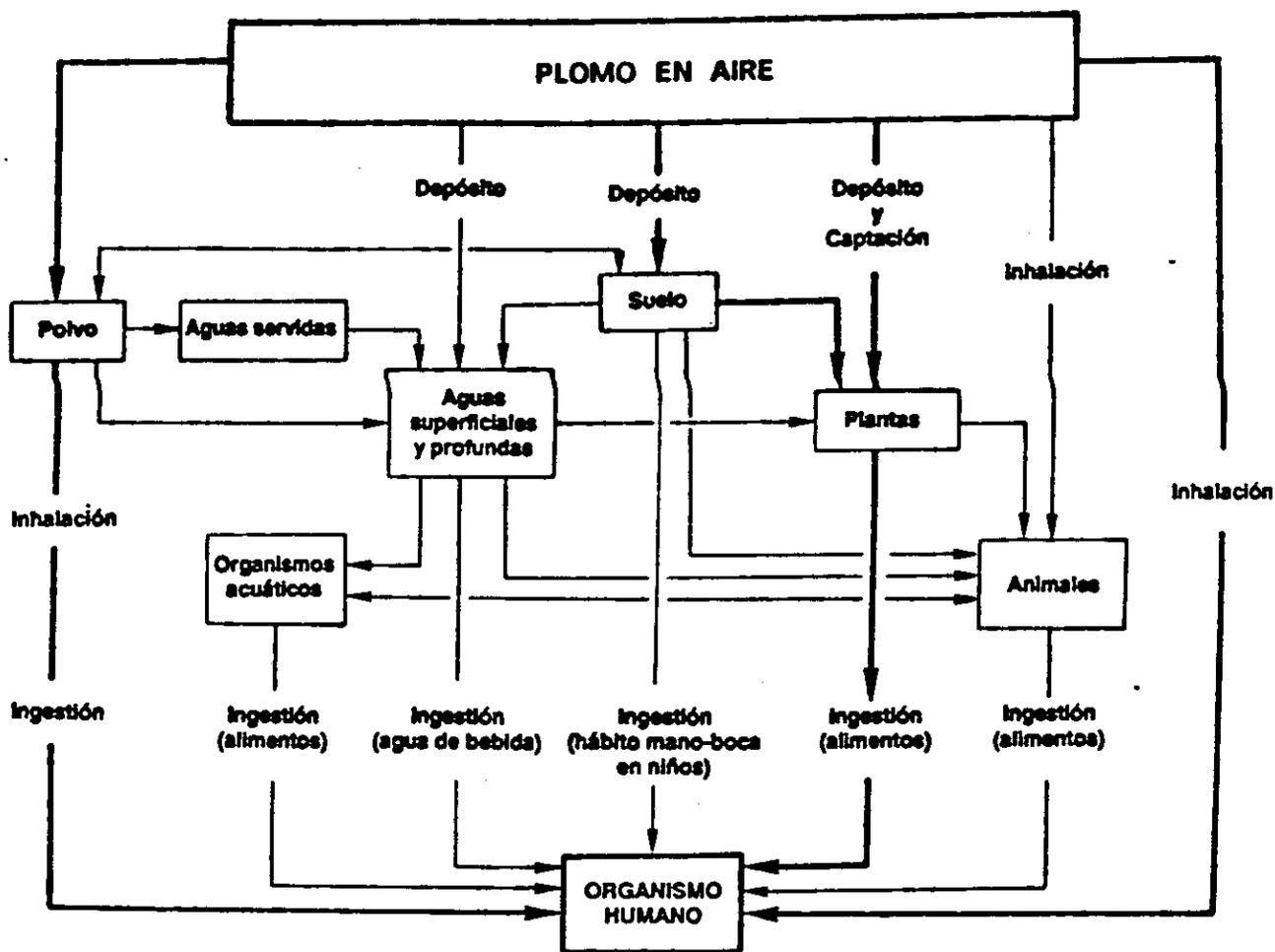
delta aminolevulínico, el incremento del ácido delta aminolevulínico y de la coproporfirina en la orina y el incremento de la protoporfirina eritrocitaria.

La distribución y la frecuencia de las diversificadas afecciones asociadas a la exposición al plomo aparentan ser importantes en los países de América Latina, lo cual se puede deducir al revisar las abundantes publicaciones de estudios y evaluaciones clínicas y de salud pública que se han hecho en ellos.

Salvo algunas estadísticas aisladas del problema de plomo a nivel ocupacional, desafortunadamente no se conoce con representatividad la magnitud de las intoxicaciones agudas y crónicas para estos países. Las abundantes investigaciones puntuales sólo permiten adivinar que la magnitud global del problema es significativa, especialmente en el ámbito ocupacional y en las poblaciones generales de las grandes ciudades, pero no se disponen de tasas de incidencia, de prevalencia, de letalidad y de mortalidad que sean confiables. A esta situación contribuye el hecho de que las intoxicaciones por plomo no son afecciones de notificación obligatoria en la mayor parte de tales países.

El desarrollo de estudios epidemiológicos más extensivos y de sistemas de vigilancia epidemiológica confiables y con cobertura, contribuirían a conocer mejor la situación respecto a estas intoxicaciones.

**FIGURA 1. IMPORTANCIA DEL PLOMO ATMOSFERICO EN LA CONTAMINACION GLOBAL DEL AMBIENTE Y EN EL APORTE DE PLOMO AL ORGANISMO HUMANO.**



FUENTE: Adaptado de Publicación Científica No. 388 de OPS, Criterios de Salud Ambiental 3, Plomo. 1979.

## BIBLIOGRAFIA

1. Byers, R. F. *Introduction in the low level lead exposure: The clinical implications of current research*. Needleman, H. L. Raven Press. 1980.
2. Carson, B. L., Ellis III, H. Y. y McCann, J. L. *Toxicology and biological monitoring of metal in human; including feasibility and need*. Michigan, MI. Lewis Publishers. 1986, pp. 128-135.
3. Corey, G. *Plomo*. México, ECO/OPS. 1989, Serie de Vigilancia 8. 103 p.
4. Duffus, J. H. *Toxicología ambiental*. Barcelona, España. Omega, 1983, 89 p.
5. Needleman, H. P. *Heavy metals in the environmental Int. Cont. Head. at low dose in the child's brain: newer data*. Amsterdam, Holland, 1981, pp. 549-552.
6. Nriagu, J. O. ed. *The biogeochemistry of lead in the environment. Part A*. Amsterdam, Holland, Elsevier/North-Holland Biomedical Press, 1978.
7. Organización Panamericana de la Salud. *Plomo*. Washington, D.C. 1979, Publicación Científica; 388; Criterios de Salud Ambiental N° 3. 169 p.
8. Smith, M. A., Grant, L. D. y Sors, A.I. *Lead exposure and child development. An international assessment*. United Kingdom. Kluwer Academic Publishers, 1989. 515 p.
9. Environmental Protection Agency. *Air quality criteria for lead. Vol. I* RTP, USA, 1986, EPA-600/8-83/028aF.