

Afectaciones por contaminación de plomo usado en minería: revisión de literatura

Impacts of lead contamination from mining: literature review



Environment & Technology | ISSN: 2711-4422

Vol. 5 No. 2. Julio - Diciembre, 2024: 26- 44

URL: <https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/>

DOI: <https://doi.org/10.56205/ret.5-2.2>

Recibido: 20/09/2024

Revisado: 25/10/2024

Aprobado: 10/11/2024

Yeny Lozano Torres
Enfermera profesional
Universidad de Córdoba, Colombia
yennylozanot@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0007-8313-1952>
Córdoba – Colombia

Olga Lucia Arango Cordero
Enfermera profesional
Universidad de Córdoba, Colombia
olguita385@yahoo.es
<https://orcid.org/0009-0005-4816-3479>
Córdoba – Colombia

Resumen

La minería y otras actividades industriales han incrementado los niveles de plomo en el suelo y cuerpos de agua, especialmente en países como Colombia. La exposición a este metal pesado representa una amenaza significativa, afectando ecosistemas acuáticos y comunidades locales que dependen de estos recursos. El principal objetivo de esta revisión bibliográfica es analizar los efectos del plomo en la salud y el medio ambiente, definir sus características, estudiar su presencia global y nacional, así como examinar los riesgos asociados con la exposición humana. Se empleó una metodología de revisión documental que abarcó tesis, artículos científicos y estudios de diversas fuentes académicas, en su mayoría posteriores al año 2000. Los resultados mostraron que la exposición al plomo provoca daños neurológicos, renales, cardiovasculares y reproductivos en humanos, y afecta especialmente a poblaciones vulnerables como niños y mujeres embarazadas. Se concluyó que la contaminación por plomo en zonas mineras exige regulaciones ambientales más estrictas y medidas preventivas para mitigar su impacto en la salud pública y el ambiente. La revisión subraya la urgencia de adoptar políticas de protección que equilibren el desarrollo económico con la preservación de la salud y el ecosistema.

Palabras clave: Toxicología; bioacumulación; metal; exposición; contaminación.



Abstract

Mining and other industrial activities have increased lead levels in soil and water bodies, especially in countries such as Colombia. The exposition to this heavy metal represents a significant threat, affecting aquatic ecosystems and local communities that depend on these resources. The main objective of this literature review is to analyze the effects of lead on health and the environment, define its characteristics, study its global and national presence, as well as examine the risks associated with human exposure. A documentary review methodology was used that included theses, scientific articles and studies from various academic sources, mostly after the year 2000. The results showed that exposure to lead causes neurological, renal, cardiovascular and reproductive damage in humans, and especially affects vulnerable populations such as children and pregnant women. It was concluded that lead contamination in mining areas requires stricter environmental regulations and preventive measures to mitigate its impact on public health and the environment. The review underlines the urgency of adopting protection policies that balance economic development with the preservation of health and the ecosystem.


Key word: Toxicology; bioaccumulation; metal; exposure; contamination.

Introducción

La revisión de la literatura muestra que la contaminación por plomo representa una amenaza medioambiental y de salud pública significativa en diversas regiones del mundo, especialmente en zonas afectadas por actividades mineras, agrícolas e industriales (Empresas Públicas de Medellín, 2023). Metales como el mercurio (Hg), plomo (Pb), cadmio (Cd), níquel (Ni), cromo (Cr) y arsénico (As), son altamente tóxicos y pueden acumularse en el suelo, agua y organismos vivos, generando afectaciones significativas.

La exposición al plomo (Pb) genera una problemática de salud pública que debe ser atendida con urgencia ya que afecta significativamente a los seres humanos y tiene consecuencias amplias, duraderas y, en muchos casos, irreversibles; provoca afectaciones en el desarrollo neurológico de los niños, alteraciones en el bienestar de la placenta en las mujeres embarazadas y aparición de enfermedades renales, daño hepático, problemas en el sistema nervioso central y cáncer (Chen et al., 2012).

Por su parte, el daño medioambiental del plomo se asocia con la contaminación de los ríos, donde la minería ha tomado un papel crucial. Según Calao y Marrugo (2015), la minería es un factor determinante, donde el plomo es liberado en forma de residuos que terminan acumulándose en el agua. Esta contaminación afecta tanto a los ecosistemas acuáticos, como



a las comunidades humanas que dependen de estos recursos hídricos para consumo, pesca y agricultura. La bioacumulación de plomo en organismos acuáticos genera un riesgo de exposición para los seres humanos a través de la cadena trófica, ampliando su impacto ambiental y en salud pública.

Revisar la literatura sobre este tema es esencial para entender el alcance y las especificidades de los impactos de la contaminación por plomo en la minería, identificar patrones y tendencias en diferentes regiones, y evaluar las medidas de mitigación. Esta revisión permite fundamentar políticas ambientales más efectivas y contribuye a crear conciencia sobre la necesidad de una regulación más estricta en las prácticas mineras, buscando un equilibrio entre el desarrollo económico y la protección de la salud.

El principal objetivo de este artículo es determinar los efectos de la contaminación por plomo proveniente de actividades mineras en la salud humana y el medio ambiente a través de una revisión exhaustiva de la literatura científica.

Metodología

Este artículo de revisión bibliográfica implementa una metodología de investigación documental. Se centra en el análisis de fuentes primarias de información como tesis de maestría y doctorado, artículos de revistas indexadas y documentos de repositorios institucionales, entre las que destacan ResearchGate, PubMed Central, Dialnet, Booksmedicos, SciElo, Redalyc, ScienceDirect, Biblioteca Digital Universidad del Valle, Docta Complutense Universidad Complutense de Madrid y Roderic Universidad de Valencia. La utilización de términos claves como plomo, minería, contaminación y salud pública fueron necesarios en la búsqueda de la información. Los documentos seleccionados se caracterizan porque su idioma de escritura fue español e inglés; los años de publicación de la mayor parte los documentos seleccionados son posteriores al 2000; sin embargo, debido a su pertinencia, también se tuvo en cuenta algunos documentos publicados previamente.

Resultados y discusión

Definición y características del plomo


El plomo es un metal pesado, de color gris plateado, suave y maleable que tiene una densidad de 11.34 g/cm³. Su presencia en la corteza terrestre se da de forma natural. Se puede encontrar en diversos contextos, casi siempre en forma inorgánica (Poma, 2008) y pocas veces en forma de metal; usualmente se combina con otros elementos con los que forma compuestos de plomo (Restrepo, 2020).

Presencia del plomo: una mirada global

El plomo, que se encuentra naturalmente en la corteza terrestre, se introduce en cuerpos de agua a través de residuos industriales, minería, aguas residuales y escorrentía urbana. Este presenta una forma no disuelta o está acompañado de partículas de mineral sedimentario u orgánico (James, Hilburn y Blair, 1996) debido a que tiene una baja solubilidad, especialmente en condiciones de pH neutro o ligeramente alcalino. Esto da razón para que, en los ecosistemas acuáticos, se acumule principalmente en los sedimentos del fondo del río, en lugar de permanecer en la capa superficial (Calao y Marrugo, 2015).

Un estudio de Kannel et al. (2008), frente a la contaminación del sistema fluvial urbano en el río Bagmati en el Valle de Katmandú, Nepal mostró que la contaminación se intensifica en las estaciones ubicadas en áreas urbanas, y que el río muestra una capacidad de "autopurificación" a medida que el río fluye a través de ciertas secciones rurales, a pesar de que en este estudio no se menciona específicamente el plomo como uno de los contaminantes analizados.

Sakan et al. (2009), evaluaron la acumulación de metales pesados en los sedimentos del río Tisza, ubicado en Europa Central., lo cual es crucial para evaluar el estado de salud ambiental del sistema fluvial y sus posibles efectos sobre la biota acuática y la salud humana. Los resultados mostraron una acumulación significativa de metales pesados en los sedimentos, en concentraciones que variaban en función de la ubicación y las actividades humanas cercanas, como la minería y la industria. Se encontró que algunos sitios presentaban




niveles de contaminación que podrían representar un riesgo para los organismos acuáticos y potencialmente para la salud humana si los metales se reintroducen en la cadena alimentaria.

La contaminación por plomo en los sedimentos del río Gomati, un afluente del río Ganges, se dio principalmente por las actividades humanas, como la descarga de aguas residuales domésticas e industriales, la agricultura intensiva y el uso de pesticidas y fertilizantes (Singh et al., 2005). Por su parte, el análisis de la contaminación por plomo y cadmio en el río Apurímac, uno de los principales ríos del Perú y considerado como uno de los afluentes más remotos del río Amazonas, mostró que la concentración media de plomo en el agua del río fue de 0.0107 mg/L, con valores mínimos inferiores a 0.001 mg/L y un valor máximo de 0,031 mg/l. Para el cadmio, la concentración observada fue inferior a 0,001 mg/L en la mayoría de las muestras. Concluyentemente, los niveles de plomo y cadmio en el agua del río Apurímac se encontraron dentro de los límites máximos permisibles según los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua de Perú. Las fuentes de plomo y cadmio en el río se asocian a actividades humanas, como el uso de agroquímicos, residuos sólidos, la minería y el narcotráfico (Cossío, 2015).

Panorámica del plomo en los ríos colombianos

En Colombia, estudios realizados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales dan a conocer que prevalecen altos niveles de materiales pesados en ríos y cuerpos de agua a lo largo del país, especialmente en las zonas dedicadas a la minería. El informe detalla que los ríos Acandiseco, Neguá y la quebrada Doña Josefa, ubicados en el departamento de Chocó, presentan signos de contaminación asociados a actividades mineras. Esta contaminación incluye un aumento en los sólidos suspendidos, grasas, aceites y metales pesados, particularmente mercurio (IDEAM, 2017).

Calao y Marrugo (2015), investigaron el impacto de los metales pesados (mercurio, cadmio y plomo) y evaluaron los efectos genotóxicos en la salud de los habitantes de la región de La Mojana Sucreña. Se analizaron muestras de sangre de habitantes de Guaranda, Sucre, Majagual y San Marcos, así como un grupo control de Montería. En algunos casos, las concentraciones de plomo alcanzaron hasta 52,46 $\mu\text{g/L}$, superando los niveles permisibles. Los participantes expuestos tuvieron mayores niveles de fragmentación del ADN en



comparación con el grupo de control. También, hubo una relación significativa entre la presencia de mercurio y cadmio en la sangre y el daño genotóxico, lo que sugiere que estos metales contribuyen al deterioro del ADN.


La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (2009), llevó a cabo una evaluación ambiental y un plan de gestión ambiental para la cuenca del río Bogotá donde se identificaron diversos puntos de vertimientos industriales y residenciales, especialmente en la cuenca media y baja, que contribuyen a la contaminación con metales pesados. Dos puntos de estudio significativos fueron el Canal Torca y el río Fucha. En el primero, se observó una concentración promedio de plomo de 0.5 mg/L; mientras que para el segundo, las concentraciones en el río Fucha superaron consistentemente el límite establecido por la normatividad para el uso y preservación de la vida acuática. Este río presentó los niveles más altos de Pb entre los afluentes del río Bogotá, debido a su proximidad a fuentes de contaminación industrial.

Así mismo, Díaz et al. (2019), analizaron los niveles de plomo y mercurio y sus efectos en las poblaciones de las riberas, especialmente en áreas como Tocaima y Girardot. Los resultados destacan que el agua del río Bogotá no se usa para el consumo humano, pero es utilizada para cultivos, lo cual genera exposición indirecta.

Exposición y absorción del plomo en el cuerpo humano

El plomo es dañino bajo cualquier nivel de exposición y su absorción se da por medio de diversos métodos (Dirección de Promoción y Prevención – Subdirección de Salud Ambiental, 2022). Un estudio realizado en Los Ángeles, por el Centro Hospitalario Wadsworth, sobre el proceso metabólico del plomo, en cinco adultos sanos recluidos durante 10 a 210 días en una unidad metabólica hospitalaria, mostró que la vida media del plomo en el cuerpo es de cerca de 35 días (Rabinowrrz, Wetherill Y Kopple, 1976).

La Superintendencia de Riesgos del Trabajo de Argentina identificó que la absorción del plomo se presenta por tres vías: respiratoria, oral y dérmica (SRT, 2016). Los datos proporcionados por National Technical Information Service (2007), revelan que cuando el plomo entra al cuerpo por medio de las vías respiratorias, al inhalarse y llevar a los pulmones, es distribuido por todo el cuerpo por medio del torrente sanguíneo.




Zheng et al. (2012), analizaron los riesgos para la salud asociados con la ingesta de metales pesados a través de la dieta en una zona industrial de Huludao, China. El estudio cuantificó que hubo ciertos niveles de plomo y cadmio que superaron los límites seguros, lo que incrementó el riesgo de efectos tóxicos en la salud humana. Los autores concluyen que la exposición crónica a estos metales pesados a través de la dieta, puede causar problemas de salud graves, como daños en el sistema nervioso, hígado y riñones, especialmente en poblaciones vulnerables como niños y ancianos.

James et al. (1996), exploraron cómo las comidas y los horarios de las comidas afectan la absorción de plomo en el tracto gastrointestinal en humanos. La investigación mostró que las personas en ayunas tienden a absorber mayores cantidades de plomo en comparación con aquellas que han ingerido alimentos. Esto se debe a que el plomo se absorbe más fácilmente cuando el sistema digestivo está vacío. Las comidas que contienen altos niveles de calcio y hierro pueden reducir la absorción de plomo. Estos minerales compiten con el plomo por los mismos sitios de absorción en el intestino, reduciendo la cantidad de plomo que ingresa al organismo.

Otra forma indirecta de absorción del Pb es por medio de la gasolina, cuando es utilizado como aditivo en forma de tetraetilo de plomo. Un estudio sobre el impacto de la eliminación del plomo en la gasolina en la Ciudad de México encontró en niños que antes de la eliminación del plomo, los niveles promedio en sangre eran de 7.22 $\mu\text{g/dL}$ y después de eliminarlo, bajaron a un promedio de 4.59 $\mu\text{g/dL}$ (Salazar et al., 2007).

La minería como un factor de riesgo para la exposición y la absorción del plomo

La minería, especialmente la ilegal, representa un riesgo significativo de exposición y absorción al plomo. El auge de la minería ha fomentado la explotación informal e ilegal de materiales, alterando el equilibrio natural y la seguridad nacional. El estudio de Saavedra Pineda (2022), destaca el crecimiento de la minería ilegal en Colombia y sus consecuencias ambientales y sociales. Este fenómeno ha aumentado la explotación de materiales sin controles adecuados, afectando gravemente el equilibrio ecológico y planteando riesgos para la seguridad nacional. En su investigación, Saavedra ha desarrollado tecnologías de detección



basadas en inteligencia artificial para identificar minas ilegales con una precisión significativa, lo cual facilita su monitoreo y control por parte del Estado.

Esta es una actividad de alto riesgo en cuanto a exposición al plomo, especialmente en zonas donde se extrae mineral o se maneja plomo en diversas formas. Los trabajadores de minas, especialmente en las de metales pesados, están expuestos al polvo o vapores de plomo, lo que puede llevar a su absorción en el organismo (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2018). Durante las actividades de extracción y procesamiento, el plomo y otros metales pesados son liberados en el suelo y el agua, afectando las áreas circundantes (SRT, 2018).

La riqueza hídrica colombiana es considerada como una de las seis más grandes del mundo, debido a su abundancia a lo largo del territorio nacional (Reyes, 2019); sin embargo, los efectos de la industria, la agricultura y la minería han causado altos niveles de contaminación en las fuentes de agua. Según el Plan de Manejo Ambiental de Acuífero del Valle de Aburrá, en 18 departamentos y 80 municipios del país se realiza explotación minera, principalmente artesanal y de pequeña escala. En áreas cercanas a actividades mineras, los niveles de plomo en el suelo y agua subterránea superan los límites seguros establecidos por las normas ambientales. La exposición al plomo es riesgosa y compromete la salud humana, particularmente en comunidades cercanas y en ecosistemas acuáticos locales. Dada la naturaleza soluble del plomo, bajo ciertas condiciones químicas, existe el riesgo de que este metal pesado se movilice a través del acuífero, afectando un área mayor y poniendo en riesgo otras fuentes de agua potable (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2018).

Afecciones en la salud por absorción y exposición al plomo

Los daños a la salud por contaminación por plomo fueron ampliamente abordados por Ginez y Meza (2022), quienes identificaron que, compuestos de plomo como acetato de plomo, óxido de plomo, carbonato de plomo, nitrato de plomo, dióxido de plomo, arseniato de plomo, fosfato de plomo y cloruro de plomo, alteran los procesos de síntesis de la hemoglobina en la mitocondria y la función tubular, generan hipertensión arterial e insuficiencia renal, accidentes cardiovasculares, inflamación del tracto gastrointestinal, además de daños en el sistema nervioso central y nefrológicos.

La **Figura 1** muestra los daños a la salud causados por la exposición al plomo, basado en la información del estudio anteriormente citado. Cada categoría refleja la severidad de los efectos, clasificados en una escala de 1 a 10. Las afectaciones más graves incluyen daño neurológico, daño renal, anemia y problemas reproductivos.

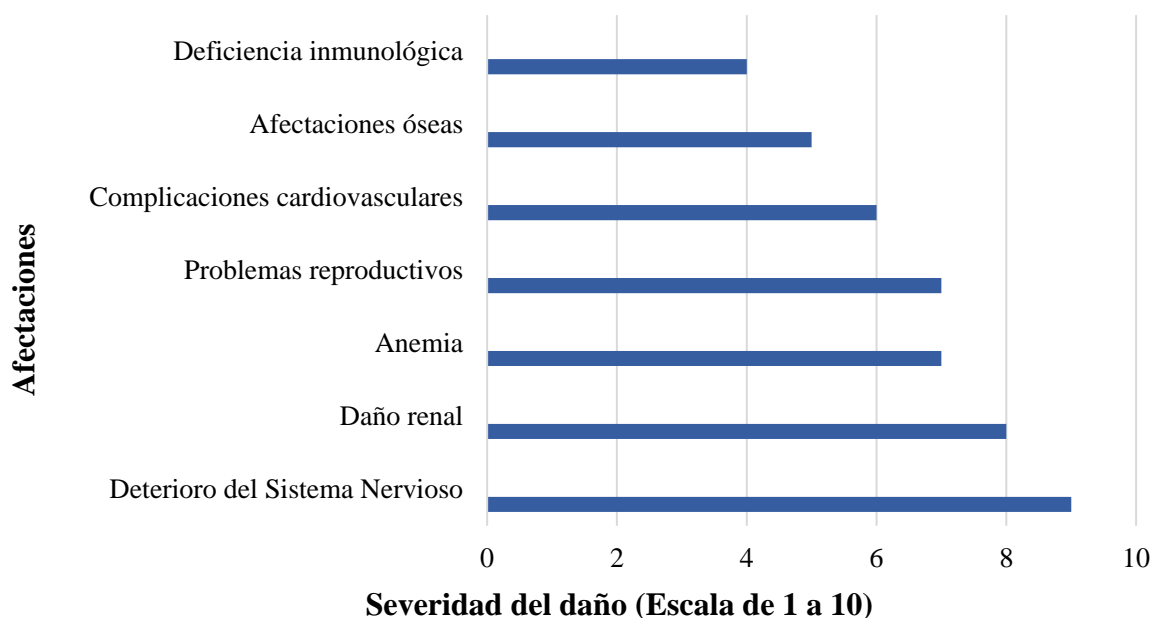



Figura 1. Daños en la salud por contaminación por plomo. Fuente: elaboración propia.

Deterioro del Sistema Nervioso Central

El plomo afecta al sistema neurológico de diversas maneras y genera efectos directos e indirectos en el cuerpo humano. Un estudio sobre la neurotoxicidad del mercurio, el plomo y el aluminio detalló los efectos en el sistema nervioso central (SNC). Se identificó que los dos primeros metales, son potentes neurotóxicos que afectan de manera significativa el desarrollo y funciones del SNC, especialmente en poblaciones vulnerables. En los niños, el coeficiente intelectual disminuye 3 puntos cuando los niveles de plomo en sangre superan los 20 $\mu\text{g}/\text{dl}$, y más de 5 puntos cuando aumentan a 50 $\mu\text{g}/\text{dl}$. En los adultos, se puede presentar encefalopatía cuando los niveles de plomo superan 450 $\mu\text{g}/\text{dL}$, presentando síntomas como temblores, somnolencia, irritabilidad y pérdida de memoria (Tostado, 2014).




El Pb puede sustituir al calcio en las mitocondrias, acelerando la autodestrucción mitocondrial y la apoptosis (muerte celular), lo que daña gravemente a las neuronas e interfiere en la función de neurotransmisores esenciales, como los sistemas dopaminérgicos, gabaérgico y colinérgico, impactando procesos claves como la memoria, el aprendizaje y el comportamiento. La exposición al Pb en infantes se relaciona con una disminución en el coeficiente intelectual y problemas de atención y aprendizaje (Tostado, 2014). En adultos, puede causar problemas de memoria, lentitud en el procesamiento y dificultades en tareas complejas (Murray et al., 2012).

Una exploración sistemática sobre las enfermedades relacionadas con la exposición ocupacional al plomo, realizada por Fonseca (2021), reveló que el plomo causa problemas en el sistema nervioso central; se observó una correlación entre niveles elevados de plomo en sangre y un aumento de la presión arterial. Los trabajadores expuestos presentaban un mayor riesgo de hipertensión, que es un factor de riesgo para enfermedades cardiovasculares más graves, como ataques cardíacos y accidentes cerebrovasculares. La exploración asoció los efectos negativos en la salud reproductiva con la exposición al plomo: en hombres, se reportaron niveles reducidos de fertilidad y alteraciones en la calidad del espermatozoides; en mujeres, incrementó el riesgo de abortos espontáneos y malformaciones congénitas en los hijos de las trabajadoras expuestas.

Daño renal

El plomo se acumula en los riñones, especialmente en los túbulos proximales, responsables de la filtración y reabsorción de nutrientes y desechos en el cuerpo. Esta acumulación puede ser prolongada debido a la naturaleza persistente del plomo, lo que permite que el metal actúe como una fuente de exposición continua, incluso cuando la exposición al metal ha cesado. Estos daños estructurales aumentan el riesgo de enfermedades renales crónicas, como la nefropatía tubulointersticial. La nefrotoxicidad del plomo también está vinculada con la hipertensión, ya que el daño renal afecta la regulación de la presión arterial; a medida que el plomo deteriora la función renal, la capacidad del cuerpo para regular la presión disminuye, contribuyendo al desarrollo de hipertensión e insuficiencia renal crónica (De Arriba, 2019).




El plomo induce daño mitocondrial, estrés oxidativo, agotamiento de antioxidantes como el glutatión y apoptosis, todo lo cual contribuye al deterioro progresivo de la función renal, además, promueve la degradación del sistema renina-angiotensina, lo que incrementa la presión arterial y el riesgo de enfermedad renal crónica; los resultados indican que la exposición a metales pesados está claramente asociada con la enfermedad renal crónica (ERC) y otros daños renales (Díaz y Arceo, 2018).

Polanco (2022), analiza la prevalencia de la enfermedad renal crónica (ERC) en la región de Tula-Tepeji, Hidalgo, México, destacando el impacto de factores ambientales, entre ellos la exposición al plomo y otros metales pesados debido a la contaminación industrial. La investigación incluyó a 704 pacientes, de los cuales el 31% presentaba ERC. Entre las afectaciones del plomo en la función renal, el estudio sugiere que la exposición crónica a niveles bajos de este metal contribuye al desarrollo de ERC e hipertensión, a través del daño túbulo-intersticial y vasculopatía arteriolar intrarrenal. Estos efectos se manifiestan en alteraciones renales como proteinuria leve, hiperuricemia y reducción en el tamaño renal, síntomas característicos de una nefritis túbulo-intersticial crónica.

Anemia

La relación entre la hemoglobina y el Pb es compleja, ya que éste puede interferir negativamente en la producción y función de la hemoglobina, lo cual contribuiría al desarrollo de anemia. El Pb inhibe enzimas esenciales en la síntesis de hemoglobina, como el ácido delta-aminolevulínico deshidratasa (ALAD) y la ferroquelatasa, que son cruciales para la producción del grupo hemo, componente de la hemoglobina que transporta oxígeno. El Pb puede afectar la absorción y el metabolismo del hierro, un mineral fundamental para la formación de hemoglobina, lo que aumenta el riesgo de anemia (James et al., 1996).

En el estudio de Martínez (2022), se analizan los niveles de plomo en sangre y su relación con factores sociodemográficos, a medida que aborda la anemia en el contexto de la exposición al plomo y su interacción con los niveles de elementos trazas esenciales en una población infantil. Los resultados del estudio denotan que niños expuestos a altos niveles de plomo en sangre mostraron una mayor prevalencia de anemia, especialmente en aquellos con deficiencias de hierro, zinc y otros elementos esenciales que afectan la salud sanguínea. Se



ha descubierto que una cantidad de plomo de 50 $\mu\text{g}/\text{dL}$ en adultos y 40 $\mu\text{g}/\text{dL}$ en adolescentes o niños, son suficientes para presentar un umbral de anemia.

Problemas reproductivos

En las mujeres, durante el embarazo, el plomo produce muertes fetales, abortos y partos prematuros, ya que la conexión sanguínea directa del feto con el sistema de la madre, altera el desarrollo fetal e intrauterino, con consecuencias como el no desarrollo de órganos genitales del feto y debilidad en el tejido epitelial (Huaman, 2019).

Rodríguez (2017), realizó una revisión sistemática y metaanálisis sobre la exposición a metales pesados (como plomo, mercurio, arsénico y cadmio) y su relación con eventos perinatales adversos en mujeres embarazadas. Se identificó una asociación entre la exposición a plomo y un aumento en el riesgo de defectos del tubo neural en los neonatos (OR=1.2, IC 95%: 0.7-2.2). La exposición al plomo se relacionó con un aumento en el riesgo de que el bebé sea pequeño para la edad gestacional (OR=1.8, IC 95%: 1.3-2.2), lo que implica que la exposición al plomo en el embarazo afecta el crecimiento fetal. El metaanálisis encontró que la exposición al plomo también se asocia con un mayor riesgo de bajo peso al nacer (OR=1.1, IC 95%: 0.9-1.3), aunque esta relación es menos consistente.

Pérez (2021) investiga cómo los metales pesados, específicamente el cobre y el plomo, afecta la receptividad del endometrio, es decir, su capacidad para permitir la implantación del embrión. Se observa que ambos metales afectan importantes implicadas en procesos críticos para la implantación, como la adhesión celular, la respuesta inmune y la regulación hormonal. El plomo, en particular, muestra efectos disruptores que pueden disminuir la receptividad del endometrio, afectando la capacidad de implantación y, en consecuencia, reduciendo las posibilidades de un embarazo exitoso. En los hombres, cuando la concentración de plomo es mayor de 40 $\mu\text{g}/\text{dL}$, la producción de espermatozoides se ve reducida en volumen y calidad; sin embargo, no existen datos exactos que demuestren que la exposición al plomo causa problemas reproductivos en los hombres.

Complicaciones cardiovasculares

Marques (2001) estudia los mecanismos fisiopatológicos por los cuales el plomo contribuye al desarrollo de la hipertensión arterial. Este trabajo se centra en los efectos tóxicos del plomo sobre el sistema cardiovascular, especialmente en su capacidad de aumentar la presión arterial. La actividad laboral se asocia con las alteraciones cardiovasculares por plomo, ya que la exposición constante, por minería, mecánicas combustibles, incrementan los riesgos cardiovasculares y enfermedades cerebrovasculares en personas adultas. El plomo puede interferir con la función de los vasos sanguíneos al causar estrés oxidativo y alterar el equilibrio de óxido nítrico, un compuesto esencial para la vasodilatación. La investigación concluye que la exposición al plomo es un factor de riesgo significativo para el desarrollo de hipertensión arterial, especialmente en personas expuestas crónicamente.

Afectaciones óseas

Una forma poco común en la acumulación de plomo es su concentración en los huesos, situación bastante compleja porque las pruebas de sangre no son determinantes para demostrar su presencia en el organismo (Tello, 2018). En casos específicos, una vez que el plomo se encuentra en el organismo, es distribuido por la sangre a los diferentes órganos del cuerpo y, posteriormente, se direcciona hasta los huesos. En los adultos “cerca del 94% de la cantidad total de plomo en el cuerpo se encuentra en los huesos y los dientes, en cambio, en niños, es aproximadamente un 73%” (National Technical Information Service, 2007, p. 6).

Deficiencia inmunológica

El plomo disminuye considerablemente los macrófagos pulmonares, trayendo como consecuencia la generación de nuevos anticuerpos en el organismo, dejándolo proclive a la adquisición de afectaciones de todo tipo, principalmente las del tracto respiratorio (Parra y Pérez, 2023); este daño es similar al que produce el consumo del tabaco y se puede manifestar con tos, fatigas y algunas veces con EPOC; por ello es importante la detección temprana y tratamiento preventivo (Muñoz, 2017).



Conclusiones

El plomo es un metal pesado de origen natural que se acumula en el ambiente, principalmente en sedimentos de cuerpos de agua y suelos. Su toxicidad y capacidad de bioacumulación lo convierten en un contaminante persistente, con efectos adversos prolongados para el medio ambiente y la salud humana.

A nivel mundial, el plomo se ha introducido en ecosistemas acuáticos a través de actividades industriales y mineras, presentando patrones de acumulación en sedimentos documentados en ríos de América, Asia y Europa.


En Colombia, especialmente en zonas mineras, los niveles de plomo en ríos, como el Bogotá y el Cauca, exceden los estándares permisibles, exponiendo a las poblaciones locales a riesgos de salud y afectando negativamente los ecosistemas acuáticos.

La minería es una fuente principal de exposición al plomo, especialmente en actividades sin control adecuado. La liberación de residuos contaminantes en el suelo y el agua afecta tanto a los mineros como a las comunidades cercanas, intensificando el riesgo de intoxicación.

La absorción del plomo ocurre a través de vías respiratorias, orales y dérmicas. Su acumulación en el cuerpo humano genera un riesgo de intoxicación crónica, afectando varios sistemas orgánicos.

La exposición al plomo en ayunas incrementa su absorción, y ciertas deficiencias nutricionales agravan sus efectos. Otros síntomas de intoxicación incluyen alteraciones neurológicas, problemas cardiovasculares, daños renales y anemia. Los efectos son severos en poblaciones vulnerables, como niños y mujeres embarazadas, así como en personas expuestas ocupacionalmente al plomo.

La neurotoxicidad del plomo afecta el desarrollo cerebral, principalmente en niños, donde puede reducir el coeficiente intelectual y causar problemas de comportamiento. En adultos, la exposición prolongada al plomo está vinculada con problemas de memoria y función cognitiva.



La acumulación de plomo en los riñones causa nefropatía crónica y contribuye a la hipertensión, aumentando el riesgo de insuficiencia renal. Este efecto es perjudicial en comunidades expuestas al plomo de manera continua.

El plomo inhibe enzimas críticas en la producción de hemoglobina, causando anemia, sobre todo en personas con deficiencias de hierro y otros elementos traza. Este efecto es más marcado en niños, quienes muestran mayor prevalencia de anemia al estar expuestos a altos niveles de plomo.


En mujeres embarazadas, el plomo incrementa el riesgo de abortos espontáneos, partos prematuros y defectos de nacimiento. En hombres, altos niveles de plomo disminuyen la calidad y cantidad de esperma, afectando la fertilidad.

La exposición al plomo está relacionada con hipertensión y enfermedades cardiovasculares. Este metal influye en el estrés oxidativo y en el equilibrio de óxido nítrico, aumentando el riesgo de eventos como ataques cardíacos y accidentes cerebrovasculares.

El plomo se acumula en los huesos, lo que puede complicar su diagnóstico a través de análisis sanguíneos. Esta acumulación tiene efectos a largo plazo y representa una fuente continua de exposición interna al plomo, afectando la salud ósea.

Referencias bibliográficas


- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). (2018). Boletín sobre plomo (versión *en español*). Recuperado de https://espanol.epa.gov/sites/default/files/2018-10/documents/103018_2018_oeca_lead_publication_-_spanish.pdf?VersionId=zd6zx7TJkM4NGEQ2z3Fu3f9SP9NzmBxm.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2018). Plan de Manejo Ambiental de Acuífero del Valle de Aburrá. Red Río Aburrá.
- Calao, C. & Marrugo, J. (2015). Efectos genotóxicos asociados a metales pesados en una población humana de la región de La Mojana, Colombia, 2013. *Biomédica*, 35 (2), 139-151.
- Chen, J., Tong, Y., Xu, J., Liu, X., Li, Y., Mingguang, T. & Li, Y. (2012). Environmental lead pollution threatens the children living in the Pearl River Delta region, China. *Environ Sci Contaminación Res Int*, 19 (8).
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). (2009). *Evaluación ambiental y plan de gestión ambiental para la adecuación hidráulica y recuperación ambiental del río Bogotá* (Vol. 1). Fondo para las Inversiones Ambientales en la cuenca del Río Bogotá - FIAB.
- Cossío Herrera, L. (2015). Contaminación por plomo y cadmio del río Apurímac -vrae. *Tesis de maestría*. Universidad Nacional De San Cristóbal De Huamanga. Perú.
- De Arriba de la Fuente, G., Hernández Sevillano, B., Pérez del Valle, K. & Quiroga Gili, B. (2019). Enfermedades renales tubulointersticiales. Formas crónicas. *Science direct*, 12 (83), 4872-4877.
- Díaz García, J. & Arceo, E. (2018). Daño renal asociado a metales pesados: trabajo de revisión. *Rev. Colomb. Nefrol*, 5 (1), 43-53.
- Díaz, S., Varona Uribe, M., Sánchez Infante, C., & Idrovo, A. (2019). Exposición a plomo y mercurio en poblaciones de la ribera del río Bogotá: estudio multi-método. *Revista de Salud Pública*, 21(1), 1-8.
- Dirección de Promoción y Prevención – Subdirección de Salud Ambiental. (2022). *Cultura del agua y la protección del recurso hídrico en Colombia a través de la norma*.
- Empresas Públicas de Medellín. (2023). *Informe de ejecución al mes de agosto 2023: Evaluación del estado actual de las concentraciones de mercurio, plomo, níquel, cromo, cadmio, arsénico y metilmercurio en peces, agua, sedimentos y material*



suspendido, y posibles afectaciones en la salud de los habitantes ribereños. de la cuenca media y baja del río Cauca. EPM.

- Fonseca Vera, A. (2021). Enfermedades por exposición ocupacional a plomo: revisión sistemática exploratoria de la evidencia cualitativa y cuantitativa. *Revista San Gregorio*.
- Ginez Fuente, P. & Meza Gonzales, M. (2022). Daños a la salud por contaminación con plomo. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*. Perú.
- Huaman Torres, L. (2019). Evaluación del nivel de contaminación por metales pesados en la población infantil del centro poblado de Paragsha para determinar la incidencia probable de la exposición ambiental frente a las sustancias producidas por la actividad minera - Distrito de Simón Bolívar- Cerro de Pasco – 2018. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- James, H., Hilburn, M. & Blair, J. (1996). Effects of meals and mealtimes on uptake of lead from the gastrointestinal tract in humans. *Hum Toxicol*, 4 (4).
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2017). Estado Del Ambiente Y De Los Recursos Naturales Renovables. Invemar.
- Kannel, P. R., Lee, S., Kanel, S. R., & Khan, S. P. (2008). Chemometric application in classification and assessment of monitoring locations of an urban river system. *Analytica Chimica Acta*, 582(2), 390-399.
- Marques Vidas, M. (2001). Bases fisiopatológicas de la hipertensión arterial inducida por plomo. *Tesis doctoral*. Universidad Complutense De Madrid. España.
- Martínez Hernanz, A. (2022). Plomo en sangre y su relación con factores sociodemográficos y elementos traza esenciales en una población infantil. *Tesis doctoral*. Universidad Complutense De Madrid. España.
- Muñoz Minutti, C. (2017). Regulación de la activación de macrófagos alveolares por la proteína del surfactante pulmonar SP-A. *Tesis doctoral*. Universidad Complutense De Madrid. España.
- Murray, R., Kennelly, P., Bender, D., Rodwell, V., Botham, K. & Weil, P. (2012). Bioquímica ilustrada. 29a. Edición. McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES. China.

- National Technical Information Service. (2007). *Resumen de Salud Pública Plomo*. Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades.
- Parra Reyes, J. & Pérez, H. (2023). Estimación de materiales lignocelulosicos residuales como adsorbentes de cromo y plomo. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 21 (1), 18-27.
- Pérez Debén, S. (2021). Análisis comparativo de perfiles proteómicos endometriales y estudio del efecto disruptor del cobre y plomo sobre la receptividad endometrial. *Tesis doctoral*. Universidad de Valencia. España.
- Polanco Flores, N. (2022). Epidemiología de la enfermedad renal crónica en la zona Tula de AllendeTepeji del Río, Hidalgo, México. *Med Int Méx*, 38 (2), 248-257.
- Poma, P. (2008). Intoxicación por plomo en humanos. *An Fac med*, 69 (2), 120-6.
- Rabinowrrz, M., Wetherill, G. & Kopple, J. (1976). Kinetic Analysis of Lead Metabolism in Healthy Humans. *The Journal of Clinical Investigation*, 58, 260-270.
- Restrepo, C. (29 de noviembre de 2020). Conocimiento, el legado del Convenio BIO. UdeA Noticias.
- Reyes Betancourt, L. M. (2019). Cultura del agua y la protección del recurso hídrico en Colombia a través de la norma. Universidad Libre de Colombia.
- Rodríguez Lozada, N. (2017). Exposición a metales pesados y el riesgo de eventos perinatales adversos en mujeres embarazadas. *Tesis de maestría*. Universidad Del Valle. Cali, Colombia.
- Saavedra Pineda, S. (2022). Minería Ilegal. Universidad del Rosario. Colombia.
- Sakan, S. M., Đorđević, D. S., Manojlović, D. D., & Predragović, D. D. (2009). Assessment of heavy metal pollutants accumulation in the Tisza River sediments. *Journal of Environmental Management*, 90 (11), 3382-3390.
- Singh, M., Müller, G., & Singh, I. B. (2005). Heavy metals in freshly deposited sediments of the Gomati River (a tributary of the Ganges), effects of human activities. *Environmental Geology*, 48(1), 125-136.
- Salazar Mallma, P., Lamadrid Figueroa, H., Ángeles, G., Riojas Rodríguez, H. & Téllez-Rojo Solís, M. (2007). Impacto de la eliminación del plomo en la gasolina sobre las concentraciones de plomo en sangre en niños de la ciudad de México.



Superintendencia de Riesgos del Trabajo. (2016). *Plomo*. Ministerio del Trabajo, Empleo y Seguridad Social. Argentina.

Superintendencia de Riesgos del Trabajo. (2018). *Guía de actuación y diagnóstico de enfermedades profesionales: Exposición al plomo*. Argentina.

Tostado Martín, E. (2014). Neurotoxicidad de los metales pesados: Plomo, Mercurio y Aluminio. Una revisión sistemática. *Tesis de maestría*. Universidad de Valladolid.

Zheng, N., Wang, Q., Zhang, X., Zheng, D., Zhang, Z., & Zhang, S. (2012). Population health risk due to dietary intake of heavy metals in the industrial area of Huludao city, China. *Science of the Total Environment*, 387(1-3), 96-104.