

Sobre la introducción de quelantes para tratar intoxicaciones por metales en Colombia: una historia olvidada

On the introduction of chelators to treat metal poisonings in Colombia: a forgotten history

Camilo A Rojas-Velandia^{1,2} , Alexander Rojas³ , Alvaro J Idrovo^{3*} 

 *idrovoaj@yahoo.com.mx

¹ Clínicos IPS. Bogotá, Colombia.

² Redes Médicas IPS. Bogotá, Colombia.

³ Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia

Recibido: 25/09/2025 aprobado: 21/10/2025

Resumen

Este trabajo resume las primeras experiencias con quelantes para manejar intoxicaciones con metales en Colombia. El primer uso conocido fue consecuencia de la intoxicación con metil-paratión de más de 500 individuos en Chiquinquirá en 1967; el dimercaprol o BAL (British Anti-Lewisite) fue usado erróneamente entre algunos afectados. A comienzos de los años 70 del siglo XX, el médico de la mina “La Esperanza”, en Aranzazu, Caldas, empezó a usar BAL y penicilamina para tratar los numerosos casos de hidrargirismo. Esto dos casos son hitos de la historia de la farmacología, la toxicología y la salud ambiental y ocupacional colombiana y latinoamericana que han sido olvidados.

Palabras clave: Intoxicación; Epidemia; Historia; Mercurio; Toxicología.

Abstract

This article summarizes the first experiences with chelators to treat metal poisoning in Colombia. The first known use was a consequence of the methyl-parathion poisoning of more than 500 individuals in Chiquinquirá, Boyacá, in 1967; dimercaprol or BAL (British Anti-Lewisite) was used erroneously among some of those affected. In the early 1970s, the physician at the “La Esperanza” mine in Aranzazu, Caldas, began using BAL and penicillamine to treat the numerous cases of hydrargirism. These two cases are milestones in the history of pharmacology, toxicology, and environmental and occupational health in Colombia and Latin America that have been forgotten.

Key words: Poisoning; Epidemic; History; Mercury; Toxicology.

Forma de citar: Rojas-Velandia CA, Rojas A, Idrovo AJ. Sobre la introducción de quelantes para tratar intoxicaciones por metales en Colombia: una historia olvidada. Salud UIS. 2025; 57: e25v57rt02. doi: <https://doi.org/10.18273/saluduis.57.e:25v57rt052>



Introducción

La toxicología es una disciplina cuya historia en Colombia no ha sido ampliamente estudiada. Dentro de esta historia, las intoxicaciones masivas tienen un significado especial pues muestran la vulnerabilidad que tienen las poblaciones, evidenciando problemas del modelo de desarrollo económico. Entre estos hechos, el más destacado y conocido es la intoxicación masiva con metil-paratión en pan ocurrida el 25 de noviembre de 1967 en Chiquinquirá, que es uno de los desastres con plaguicidas más graves del mundo^{1,2}. Allí, según el estudio epidemiológico oficial, hubo más de 500 intoxicados, de los cuales 165 requirieron tratamiento hospitalario y 63 fallecieron³. Sin embargo, hubo tres casos adicionales similares; el primero ocurrió en Puerto López (Meta) en 1970, cuando 190 individuos fueron intoxicados con pescado contaminado con un plaguicida organofosforado no definido, lo que provocó que 157 personas requirieran atención médica y 7 fallecieran. La tercera intoxicación masiva fue en Pasto (Nariño) en 1977, cuando el consumo de pan contaminado con paratón provocó la intoxicación de ~300 personas, incluidas 120 con tratamiento hospitalario, y 15 muertes². Más recientemente, en Pereira, en 2022 se observó la intoxicación masiva de 37 individuos que consumieron empanadas contaminadas con etión, un organofosforado usado para el control parasitario de animales⁴.

En relación con otras sustancias, sobresalen las poco conocidas intoxicaciones masivas con asbesto y mercurio. Un estudio realizado con la población de Sibaté, Cundinamarca, permitió identificar que en 1942 empezó a funcionar una industria de asbesto que se asocia con un incremento de casos de mesotelioma décadas después; en una encuesta en 2017 se auto-reportaron 29 casos, y se pudieron verificar los diagnósticos médicos de la mayoría. Estos casos, para un municipio de cerca de 40 000 habitantes resulta ser una ocurrencia exageradamente alta. Los estudios ambientales en Sibaté permitieron identificar la presencia de asbesto en el suelo superficial en varios lugares del municipio, lo que evidencia la contaminación ambiental procedente de la empresa de asbesto como causa de exposición entre trabajadores y residentes del municipio. Se estima que nuevos casos de mesotelioma ocurrirán en el futuro dada la presencia de asbesto en lugares concurridos por individuos menores de 25 años de edad^{5,6}.

El mercurio tiene también una importante historia de intoxicaciones masivas, aunque no muy conocida. Hacia 1977 se conoció de la contaminación ocasionada por una empresa productora de cloro y soda cáustica a la bahía de Cartagena; ese hecho generó mucho miedo por la similitud con lo ocurrido en la bahía de Minamata, Japón, pero afortunadamente no ocasionó enfermedad entre los humanos⁷. Hacia 2009 se conoció la intoxicación de trabajadores de una empresa productora de luminarias localizada en el barrio Olarte, al sur de Bogotá; allí se presentaron 25 casos de hidrargirismo y en 2025 sigue vivo un conflicto social, ambiental y laboral por este hecho⁸. En 2017 se presentó un caso de intoxicación masiva en un colegio de Puerto Bolívar, Atlántico; hubo 72 intoxicados, de los cuales 20 requirieron atención hospitalaria⁹. Existen varios estudios sobre minería del oro que muestran altas concentraciones a la que se exponen trabajadores y residentes en las zonas de influencia minera, lo que incluso llevó a la conclusión de que en el bajo Cauca antioqueño se presenta la mayor concentración per cápita en aire de mercurio en el mundo¹⁰.

Otro hecho importante, recientemente recordado, fue la alta ocurrencia de hidrargirismo o mercurialismo entre trabajadores de la única mina de mercurio nativo en Aranzazu, Caldas, que funcionó entre 1948 y 1975^{11,12}. La reconstrucción histórica de este grave problema sanitario permitió identificar que en esta mina se inició el uso sistemático de quelantes para tratar intoxicaciones con metales en Colombia. Dada la importancia de este hecho para la historia de la farmacología, la toxicología, la salud ocupacional y ambiental y la geología médica en Colombia, este trabajo resume los primeros hechos relacionados con el uso de dimercaprol (2-3-dimercaptopropanol) y penicilamina en el país. Los hechos aquí descritos también resultan importantes para América Latina, ya que hasta donde sabemos sólo el individuo tratado exitosamente con dimercaprol por Silva Lafrentz y Figueroa Body¹³, publicado en 1947 en la *Revista Médica de Chile*, fue anterior a los casos que se describirán a continuación.

Para contextualizar los hechos en Colombia, primero se revisarán generalidades de los quelantes y sus orígenes como antídotos sintetizados en medio de los conflictos bélicos mundiales del siglo XX; luego se revisarán los acontecimientos relacionados con el primer uso de dimercaprol en Colombia, relacionado con un diagnóstico errado de intoxicación, y finalmente se revisará el caso de la mina de mercurio nativo en Aranzazu, Caldas, donde las evidencias históricas señalan un amplio uso de dimercaprol y penicilamina para tratar hidrargirismo. Se finaliza con un análisis de la forma en que se introdujo el conocimiento sobre el manejo de quelantes desde la perspectiva de la sociología de la ciencia.

Armas químicas, síntesis del BAL y penicilamina

El dimercaprol, conocido inicialmente como BAL (British Anti-Lewisite), tiene sus orígenes en el horror de la guerra. Durante la Primera Guerra Mundial se desarrollaron muchas armas químicas, tal vez inspiradas en el “fuego griego”¹⁴, entre las que se encuentra la lewisita ($C_2H_2AsCl_3$). Este es un vesicante con arsénico orgánico desarrollado por W. Lee Lewis en 1918, en los Estados Unidos¹⁵, el cual se absorbe rápidamente a través de la piel y las vías respiratorias. La lewisita en contacto con la piel genera ampollas, dolor intenso y los ojos se ven significativamente afectados, y en dosis altas puede causar la muerte¹⁶. Para contrarrestar la lewisita, el ejército británico desarrolló el BAL¹⁷. Aunque su uso original fue como antídoto contra el arsénico, y se postuló como tratamiento de la dermatitis o encefalitis arsenical, y de individuos con sobredosis de mafarsen, un tratamiento antisifilítico con arsénico⁸, pronto se empezó a usar contra el mercurio inorgánico debido a que genera quelatos estables. Por esto mismo, el BAL también se usó para disminuir la acumulación de cobre en la enfermedad de Wilson¹⁹. El BAL es un compuesto de ditiol con una vida media corta (~4 h) que generalmente se aplica con inyecciones intramusculares profundas²⁰. Antes de 1970 el conocimiento sobre la eficacia como antídoto del mercurio y la seguridad del dimercaprol era escaso en humanos. La mayoría de los estudios fueron experimentales en animales, como perros y conejos²¹.

Pocos estudios con BAL informaron resultados con humanos. Por ejemplo, Modell et al.²² realizaron un experimento con 9 individuos (7 afroamericanos) con sífilis secundaria o terciaria tratados con arsenicales para explorar la dosis de dimercaprol sin efectos adversos. Así, se observó que dosis inferiores a 3-5 mg/kg son las que no presentan efectos adversos. Por otro lado, Longcope et al.²³ informaron sobre el tratamiento de 23 casos de intoxicación aguda por bicloruro de mercurio utilizando una dosis de 300 mg (3 ml de una solución al 10%), seguida de la mitad de la dosis a las 12, 24 y 36 horas. Los hallazgos indicaron mejoría excepto en un caso fatal que recibió 150 mg en la primera dosis, y varios efectos adversos durante el seguimiento de los pacientes. En general, los casos de intoxicación en la literatura científica no tenían concentraciones elevadas de mercurio o presentaciones clínicas severas.

De otro lado, la penicilamina (β,β -dimetilcisteína) se obtiene de la degradación hidrolítica de la penicilina. Su uso inicial, en 1956, fue para la enfermedad de Wilson²⁴, pero comenzó a usarse en el envenenamiento por mercurio después de que Aposhian, en 1958, describiera el tratamiento exitoso con D-penicilamina de ratas envenenadas con cloruro de mercurio²⁵. Sin embargo, el inicio del tratamiento humano se debió a Pagnotto et al., quienes en 1960 reportaron casos exitosos de tratamiento²⁶. Suele administrarse por vía oral, siendo bien absorbido por el tracto gastrointestinal, y no tiene los efectos adversos del dimercaprol, aunque en algunos casos se producen reacciones agudas de sensibilidad y daño renal. Es importante señalar que durante la década de 1960 hubo publicaciones científicas que describían la administración intravenosa de penicilamina en casos de intoxicación por plomo²⁷.

El tratamiento quelante

La quelación tiene como objetivo terapéutico prevenir y reducir los efectos tóxicos de los metales pesados y metaloides, mediante la formación de enlaces covalentes que conforman una estructura de anillo que limita la disponibilidad del metal para su interacción con los distintos blancos orgánicos y, adicionalmente, acelerar su eliminación corporal^{28,29}. Los agentes quelantes idóneos son los que tienen una alta solubilidad en agua, son resistentes a la biotransformación, alcanzan los sitios de acumulación del metal o metaloide, mantienen su efecto farmacológico en el pH de los fluidos corporales, pueden ser excretados sin interacciones con órganos vitales, y forman complejos con el metal o metaloide quelado transformándolo en un compuesto menos tóxico que el metal o metaloide aislado^{29,30}. Aunque cada vez hay más terapéuticas quelantes disponibles con diferentes vías de administración, la mayoría de ellos presentan limitaciones como múltiples efectos adversos, generación de redistribución del metal, dificultades para remover el agente tóxico desde sitios intracelulares, pobre recuperación clínica, y en algunos países, se evidencian problemas de acceso al tratamiento y altos costos^{28,30}.

Primer uso de BAL en Colombia: un error diagnóstico

Como se dijo previamente, la mayor tragedia toxicológica en el país fue la ocurrida el noviembre 25 de 1967 en Chiquinquirá, Boyacá. Esta ha sido ampliamente documentada en medios noticiosos de la **época**, como estudio epidemiológico³, en artículos históricos² y como obra literaria³¹ y en diversos medios audiovisuales. Lo que no es muy conocido es que en este hecho se usó el BAL por error diagnóstico, en medio de la confusión social y el desconocimiento toxicológico que generó la intoxicación masiva. Se pensó que el envenenamiento fue ocasionado por plomo presente en el agua de consumo del municipio, lo que llevó a que las autoridades nacionales buscaran llevar BAL para ser usado. De hecho, se aprovechó un vuelo comercial procedente de Panamá, donde se disponía de BAL, para llevarlo rápidamente a Bogotá, y de allí a Chiquinquirá². No se conoce el número de individuos que recibieron el quelante, pero su uso puede ser verificado en un artículo científico publicado en la *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacológicas* que reporta su presencia como hallazgo de autopsias realizadas, por medicina legal, a individuos que fueron intoxicados en Chiquinquirá³². Este artículo, en breve, informa que se intentaron diversas técnicas analíticas en cuatro individuos que mostraban la aplicación intramuscular del BAL en los glúteos; sólo en uno de ellos se logró identificar su presencia, y no se encontró evidencia de asociar su uso con la muerte. Este caso fue muy interesante en su época, pues no había técnicas estándar para identificar el BAL. El encargado de los análisis fue el profesor Fernando Velasco quien por asesoría del Milton Helpern, jefe de medicina forense de Nueva York en aquella época, utilizando un método basado en análisis colorimétrico e infrarrojo logró identificar el BAL³².

Quelación en la mina de mercurio nativo de Aranzazu

En Aranzazu, Caldas, entre 1948 y 1975 funcionó la única mina de mercurio nativo con extracción comercial de Colombia. Si bien debieron existir intoxicados con mercurio, durante la mayor parte del tiempo no hubo un manejo específico de los casos de hidrargirismo; por ello cuando un trabajador enfermaba, el cuidado dependía de sus familiares. Se sabe que ese fue el motivo para que muchos mineros no regresaran a trabajar después de enfermarse, y quienes lo hacían retornaban después de varios meses de incapacidad por la enfermedad. En la última fase de producción de la mina, con la mayor extracción de mercurio y bajo la administración de Américo Marán y Gonzalo Soto, se hicieron varias mejoras en las técnicas de extracción de mercurio, especialmente en relación con la trituración de rocas, y se contrató a un médico para supervisar los aspectos sanitarios de la mina tras finalizar su año de servicio social. Así llegó Hernando Marín Maya (**Figura 1**) a ser el médico de la mina, personaje clave en la historia de la toxicología ocupacional colombiana.



Figura 1. Hernando Marín Maya (1941-2021). Médico pionero de la toxicología ocupacional en Colombia. Fotografía brindada por el colectivo cultural independiente Aranzazu al Día

En relación con el tratamiento de quelación para trabajadores con hidrargirismo, Marín Maya indicó: «Implementamos tratamientos bastante sofisticados, porque creo que fue uno de los primeros médicos que lo utilizó aquí en Caldas para tratar la intoxicación por mercurio. Utilicé dos productos que nadie había usado. Uno fue el BAL, un medicamento que se usaba para la mostaza nitrogenada durante la Segunda Guerra Mundial, y luego la penicilamina. Realicé un estudio sobre la intoxicación por mercurio en Aranzazu, su casuística y su tratamiento, y tuvo muy buena acogida» (entrevista con HMM, 2020). Como queda claro, era muy novedoso en ese momento el uso de quelantes para tratar la intoxicación con mercurio. Infortunadamente no hay registros conocidos del tratamiento médico con agentes quelantes utilizado, pero es posible que hayan cambiado con el tiempo, según los resultados obtenidos mediante ensayo y error, y la información obtenida de artículos científicos. Un exminero relató: «Te envían medicamentos, principalmente inyecciones para eso. Cuatro inyecciones diarias: dos por la mañana y dos por la tarde. Te ponen una en la vena y otra en el músculo, por la tarde y por la mañana» (entrevista con RO, 2023). Al parecer, la descripción hace referencia a un tratamiento con dimercaprol intramuscular y penicilamina intravenosa, que se aplicaba dos veces al día¹¹.

Como resulta evidente, Hernando Marín Maya (1941-2021) lideró el tratamiento quelante con los trabajadores de la mina de Aranzazu. El nació en el municipio de Villamaría, cerca de Manizales, y estudió medicina en la Universidad de Caldas con algunas limitaciones económicas. Se graduó en 1966 y realizó su servicio social en el municipio de Filadelfia, al norte del departamento. Allí fue contactado para que terminando su año rural trabajara como médico de la mina de mercurio en Aranzazu, lo cual aceptó no sin señalar que él no tenía conocimientos en toxicología del mercurio. Hacia finales de los 60, la toxicología no era una asignatura dentro de la carrera de medicina en Colombia. De hecho, cuando empezó la carrera de medicina en la Universidad de Caldas, en 1952, se seguían las actividades académicas de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia de Bogotá que no incluía estudios en toxicología³²⁻³⁵. Sólo en 1965 inició la primera cátedra de toxicología, dentro del programa de farmacología, de la carrera de medicina en la Universidad Nacional³⁶.

La capacidad de autoaprendizaje de Marín Maya leyendo los artículos y textos científicos sobre toxicología enviados es significativa. Algunos de los objetos personales resguardados por su familia muestran el acceso que tenía a resúmenes de reuniones científicas de la Society of Toxicology de Estados Unidos de América a comienzos de los años 70, así como el interés en poner en práctica en Aranzazu lo que se hacía en otros lugares del mundo. En este sentido resaltan algunos documentos mecanografiados, al parecer traducidos de publicaciones en inglés, donde se explicaban técnicas de cuantificación de mercurio en orina. Marín Maya tenía claro que las técnicas de laboratorio cualitativas para identificar mercurio eran sencillas, como la de Reinsch³⁷ modificada por Gettler³⁸, mientras no lo eran las técnicas que buscaban cuantificar el mercurio. Entre estas últimas se encontraban los métodos del difenilcarboácido³⁹ y de la ditizona⁴⁰ (Figura 2). Sin embargo, hasta donde conocemos nunca hubo mediciones de mercurio en orina u otros biomarcadores entre los trabajadores de la mina “La Esperanza”, pero sí muestra el claro interés que tenía Marín Maya en tener evidencia sobre el nivel de exposición que tenían.

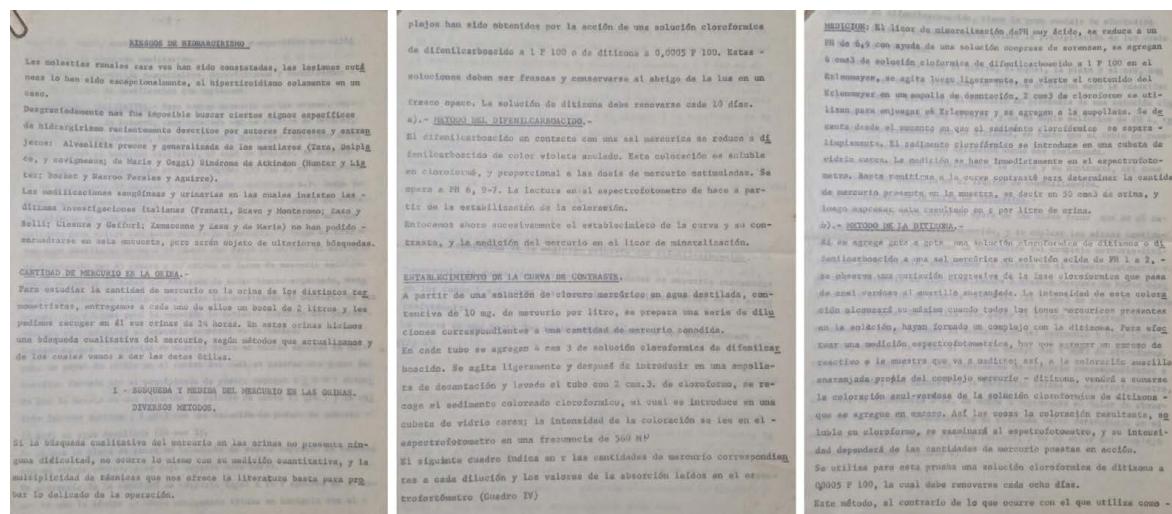


Figura 2. Extractos de documentos privados de Marín Maya con los métodos para cuantificar el mercurio en muestras humanas.

Conclusión

Los hechos descritos en este texto muestran que los quelantes, en específico el BAL y la penicilamina, fueron usados tempranamente en Colombia y en un periodo de tiempo cercano. El primer uso se dio en un escenario de tragedia nacional con diagnóstico errado de intoxicación con plomo, y en el segundo caso como estrategia de toxicología ocupacional para recuperar a los numerosos mineros que en breves periodos de tiempo presentaban hidrargirismo por la muy alta exposición a mercurio en los socavones de la mina de Aranzazu. ¿El uso de BAL en la intoxicación de Chiquinquirá motivó que se buscara y usara el BAL en la mina de Aranzazu? Si bien no hay respuesta a esta pregunta, es claro que los dos hechos relatados son hitos en la historia de la toxicología colombiana y latinoamericana.

Contribución de autores

CARV: Encargado de los temas de toxicología clínica, y revisiones de las versiones preliminares. AR: encargado del tema de armas químicas y revisión de las versiones preliminares. AJL: encargado de los temas de toxicología ocupacional y redacción de las versiones preliminares del manuscrito. Todos los autores aprobaron la versión final.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los habitantes y al alcalde de Aranzazu por su apoyo durante la estadía en el municipio. A los familiares del médico Hernando Marín Maya que abrieron las puertas de su hogar y permitieron compartir importantes datos de su vida. Un reconocimiento especial al colectivo cultural independiente “Aranzazu al día” por el material histórico suministrado, y a Juan Sebastián Bonilla y Helwar Figueroa de la Escuela de Historia de la Universidad Industrial de Santander por el material suministrado de la historia social de la mina de Aranzazu.

Consideraciones éticas

El estudio siguió los lineamientos para la investigación con humanos, definidos en la normatividad colombiana y en la Declaración de Helsinki, y fue avalado por el Comité de Ética en Investigación Científica (CEINCI) de la Universidad Industrial de Santander (7 de junio de 2019).

Conflictos de intereses

Los autores declaran que no presentan conflictos de interés

Financiación

Este estudio hizo parte del proyecto “Gobernanza de la salud ambiental territorial”, del programa de investigación en salud ambiental para Colombia. Fue financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (contrato 905-2019) y la Universidad Industrial de Santander.

Apoyo tecnológico de IA

No se utilizaron tecnologías asistidas por inteligencia artificial (IA), modelos de lenguaje, machine learning, o alguna tecnología similar, como ayuda en la creación de este estudio.

Referencias

1. Anonymous. Insecticides and gulf ports. *Lancet*. 1968; 1: 1022. doi: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(68\)91123-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(68)91123-9)
2. Idrovo AJ. Intoxicaciones masivas con plaguicidas en Colombia. *Biomédica*. 1999; 19: 67-76. doi: <https://doi.org/10.7705/biomedica.v19i1.1009>

3. Galán R. Investigación epidemiológica de la intoxicación alimenticia presentada en el municipio de Chiquinquirá. *Trib Méd.* 1969; 34: 353-365.
4. Sánchez EM, Walteros DM, Estrada JM, Bustos Álvarez DY, Gomez JL. Ethion food poisoning outbreak in Pereira, Colombia, 2022. *Clin Toxicol.* 2024; 62(9): 564-568. doi: <https://doi.org/10.1080/15563650.2024.2388756>
5. Ramos-Bonilla JP, Cely-García MF, Giraldo M, Comba P, Terracini B, Pasetto R, et al. An asbestos contaminated town in the vicinity of an asbestos-cement facility: The case study of Sibaté, Colombia. *Environ Res.* 2019; 176: 108464. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.04.031>
6. Lysaniuk B, Cely-García MF, Mazzeo A, Marsili D, Pasetto R, Comba P, Ramos-Bonilla JP. Where are the land-filled zones? Use of historical geographic information and local spatial knowledge to determine the location of underground asbestos contamination in Sibaté (Colombia). *Environ Res.* 2020; 191: 110182. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110182>
7. Guerrero E, Restrepo M, Podlesky E. Contaminación por mercurio de la bahía de Cartagena. *Biomédica.* 1995; 15: 144-146. doi: <https://doi.org/10.7705/biomedica.v15i3.873>
8. Díaz-Álvarez CJ, Cortés-Pedraza SB. Gestión ambiental y conflicto por el uso de mercurio añadido en la industria de luminarias en Bogotá D.C. *Gestión y Ambiente.* 2023; 26(2): 106398. doi: <https://doi.org/10.15446/ga.v26n2.106398>
9. Caracol Radio Barranquilla. Aumenta a 66 niños los intoxicados por mercurio en Puerto Colombia. Caracol Radio, Octubre 30, 2017. Disponible en: https://caracol.com.co/emisora/2017/10/30/barranquilla/1509367234_462391.html
10. Cordy P, Veiga MM, Salih I, Al-Saadi S, Console S, Garcia O, et al. Mercury contamination from artisanal gold mining in Antioquia, Colombia: The world's highest per capita mercury pollution. *Sci Total Environ.* 2011; 410-411: 154-160. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.09.006>
11. Bonilla JS, Idrovo AJ, Figueroa HH. Intoxication in a Colombian mercury mine: Aranzazu, 1948-1975. *Hist Cienc Saude Manguinhos.* 2024; 31: e2024048. doi: <https://doi.org/10.1590/S0104-59702024000100048en>
12. Bonilla JS, Rojas A, Rojas-Velandia CA, Figueroa HH, Núñez- D, León Palma KA, Idrovo AJ. Native mercury, hydrargyriasm and the birth of occupational toxicology in Colombia. *Environ Geochem Health.* 2025; 47(2): 40. doi: <https://doi.org/10.1007/s10653-024-02301-y>
13. Silva Lafrentz C, Figueroa Body E. Intoxicación mercurial aguda tratada exitosamente; uso de BAL. *Rev Méd Chile.* 1947; 75: 683-685.
14. Mayor A. Greek fire, poison arrows & scorpion bombs: biological and chemical warfare in the Ancient World. Woodstock, New York City; 2003.
15. Lewis WL, Perkins GA. The β -chlorovinylchloroarsines. *Ind Eng Chem.* 1923; 15: 290-295. doi: <https://doi.org/10.1021/ie50159a033>
16. Pechura CM, Rall DP. History and analysis of mustard agent and lewisite research programs in the United States. In: Pechura CM, Rall DP (Eds.). *Veterans at risk: the health effects of mustard gas and Lewisite.* National Academy Press; 1993, pp 21-60.
17. Peters RA, Stocken LA, Thompson RH. British anti-lewisite (BAL). *Nature.* 1945; 156: 616-619. doi: <https://doi.org/10.1038/156616a0>

18. Waters LL, Stock C. BAL (British Anti-Lewisite). *Science*. 1945; 102: 601-606. doi: <https://doi.org/10.1126/science.102.2659.601>
19. Denny-Brown D, Porter H. The effect of BAL (2,3-dimercaptopropanol) on hepatolenticular degeneration (Wilson's disease). *N Engl J Med*. 1951; 245: 917-925. doi: <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJM195112132452401>
20. Gerhardsson L, Kazantzis G. Diagnosis and treatment of metal poisoning: general aspects. In: Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M (ed). *Handbook on the toxicology of metals*, 4th ed. New York: Academic Press 2014, pp 487-505.
21. Gilman A, Allen RP, Philips FS, St. John E. Clinical uses of 2,3-dimercaptopropanol (BAL). X. The treatment of acute systemic mercury poisoning in experimental animals with BAL, thiosorbitol and BAL glucoside.. *J Clin Invest*. 1946; 25: 549-556. doi: <https://doi.org/10.1172/JCI101737>
22. Modell W, Gold H, Cattell MK. Clinical uses of 2,3-dimercaptopropanol (BAL). IV. Pharmacologic observations on BAL by intra-muscular injection in man. *J Clin Invest*. 1946; 25: 480-487. doi: <https://doi.org/10.1172/JCI101731>
23. Longcope WT, Luetscher JA, Calkins E, Grob D, Bush SW, Eisenberg H. Clinical uses of 2,3-dimercaptopropanol (BAL); the treatment of acute mercury poisoning by BAL. *J Clin Invest*. 1946; 25: 557-567. doi: <https://doi.org/10.1172/JCI101738>
24. Walshe JM. Penicillamine, a new oral therapy for Wilson's disease. *Am J Med*. 1956; 21: 487-495. doi: [https://doi.org/10.1016/0002-9343\(56\)90066-3](https://doi.org/10.1016/0002-9343(56)90066-3)
25. Aposhian HV. Protection by D-penicillamine against the lethal effects of mercuric chloride. *Science*. 1958; 128: 93. doi: <https://doi.org/10.1126/science.128.3315.93>
26. Pagnotto LD, Brugsch HG, Elkins HB. Treatment of chronic mercurialism with N-acetyl-penicillamine. *Am Ind Hyg Assoc J*. 1960; 21: 419-422. doi: <https://doi.org/10.1080/00028896009344096>
27. Ohlsson WT. Penicillamine as lead-chelating substance in man. *Br Med J*. 1962; 1: 1454-1156. doi: <https://doi.org/10.1136/bmj.1.5290.1454>
28. Kosnet MJ. Chapter 57: Heavy Metal Intoxication & Chelators. In: Vanderah TW (editor). *Katzung's basic & clinical pharmacology* 16th ed. Mc Graw Hill; 2023.
29. Flora SJ, Pachauri V. Chelation in metal intoxication. *Int J Environ Res Public Health*. 2010; 7: 2745-2788. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph7072745>
30. Kim JJ, Kim YS, Kumar V. Heavy metal toxicity: An update of chelating therapeutic strategies. *J Trace Elem Med Biol*. 2019; 54: 226-231. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2019.05.003>
31. Chillián Reyes Y. *Pandemónium. Veneno, dolor y muerte en Chiquinquirá*. Bogotá: D'vinni, 2011.
32. Velasco F. Investigación de BAL en cadáveres en un caso de intoxicación colectiva por paratón. *Rev Colomb Cienc Quím Farm*. 1972; 2: 52-66. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rccqifua/article/view/56732>
33. Henao Toro R. Apuntes sobre la historia de la medicina en Manizales. Manizales: Biblioteca de Escritores Caldense; 1984.

34. Puentes Centeno, F. Pasado, presente y futuro de la toxicología y la neurotoxicología en Colombia. *Salud UIS*. 1995; 23: 5–7. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistasaluduis/article/view/10556>
35. Mejía Rivera O. Historia de la medicina en el Eje Cafetero 1865-1965. Manizales: Universidad de Caldas; 2019.
36. Rodríguez Pulido AI. La toxicología en la facultad de medicina. En: Eslava Castañeda JC, Vega Vargas M, Hernández Alvarez M (editores). Facultad de Medicina. Su historia. Tomo II. Bogotá DC: Universidad Nacional de Colombia; 2018: 89-97.
37. Reinsch H. Ueber das verhalten des metallischen kupfers zu einigen metalllösungen. *J Prakt Chem.* 1841; 24: 244-250. doi: <https://doi.org/10.1002/prac.18410240132>
38. Gettler AO. Simple tests for mercury in body fluids and tissues. *Am J Clin Pathol.* 1937; 7(Suppl.): 13-14. doi: <https://doi.org/10.1093/ajcp/7.ts1.1.13>
39. Laird FW, Smith SA. Determination of mercury with s-diphenylcarbazide. *Ind Eng Chem Anal Ed.* 1938; 10: 576-578. doi: <https://doi.org/10.1021/ac50126a002>
40. Barnes H. The determination of mercury by means of dithizone. *Analyst.* 1947; 72: 469-472. doi: <https://doi.org/10.1039/AN9477200469>