

Evolución de la concentración de plomo en sangre en la población infantil: nuevos desafíos analíticos y retos para la salud pública

Tendências da concentração de chumbo no sangue na população infantil: novos desafios analíticos e implicações para a saúde pública

Trends in blood lead concentrations in children: new analytical challenges and public health challenges

Montserrat González-Estecha¹, Marta Pieloblo Cózar², José María Ordóñez Iriarte³

¹ Emeritus PhD del SERMAS. Hospital General Universitario Gregorio Marañón. Madrid. España.

² Facultativo especialista en Bioquímica Clínica. Hospital Clínico Universitario de Santiago de Compostela. España.

³ Académico Correspondiente de la Academia de Farmacia St^a M^a de España de la Región de Murcia. España.

Cita: González-Estecha M, Pieloblo Cózar M, Ordóñez Iriarte JM. Evolución de la concentración de plomo en sangre en la población infantil: nuevos desafíos analíticos y retos para la salud pública. Rev. Salud ambient. 2026; 26(1):62-69.

Recibido: 29 de enero de 2026. **Aceptado:** 26 de mayo de 2026. **Publicado:** 15 de junio de 2025.

Autor para correspondencia: Montserrat González-Estecha.

Correo e: montse@cmpx.net

Financiación: Sin financiación externa.

Declaración de conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés relacionado con la preparación, revisión o publicación del presente artículo.

Declaraciones de autoría: Todos los autores contribuyeron al diseño del estudio y la redacción del artículo. Asimismo, todos los autores aprobaron la versión final.

Resumen

Introducción: El plomo (Pb) es un metal pesado neurotóxico sin función biológica conocida en el ser humano. A pesar de los avances legislativos y la eliminación mundial de la gasolina plomada, la exposición infantil persiste como un desafío crítico de salud ambiental debido a fuentes residuales e infraestructuras obsoletas. **Objetivo:** Analizar la toxicidad del plomo en la infancia, la evolución de los valores de referencia, los desafíos analíticos del laboratorio moderno y los retos actuales de la salud pública. **Desarrollo:** El artículo revisa los mecanismos de absorción gastrointestinal, acentuados por deficiencias de hierro y calcio, y la neurotoxicidad en niveles bajos. Se discute la importancia de las condiciones preanalíticas para evitar la contaminación, la transición tecnológica hacia métodos analíticos más sensibles y la necesidad de unificar unidades de medida ($\mu\text{g/L}$). Asimismo, se desglosa el impacto de las nuevas regulaciones sobre la calidad del agua de consumo. **Conclusiones:** No existe un umbral de exposición seguro para el plomo. El laboratorio clínico, la atención primaria y la salud ambiental debe estar coordinados. La salud pública debe transitar de un modelo de prevención secundaria a uno de prevención primaria total, centrado en la eliminación de la fuente antes del contacto biológico, para proteger el potencial neurocognitivo de las futuras generaciones.

Palabras clave: plomo; salud infantil; salud ambiental; laboratorio clínico; prevención primaria.

Resumo

Introdução: O chumbo (Pb) é um metal pesado neurotóxico sem função biológica conhecida no ser humano. Apesar dos avanços legislativos e da eliminação mundial da gasolina com chumbo, a exposição infantil persiste como um desafio crítico de saúde ambiental devido a fontes residuais e infraestruturas obsoletas. **Objetivo:** Analisar a toxicidade do chumbo na infância, a evolução dos valores de referência, os desafios analíticos do laboratório moderno e os atuais desafios da saúde pública. **Desenvolvimento:** O artigo revisa os mecanismos de absorção gastrointestinal, acentuados por deficiências de ferro e cálcio, e a neurotoxicidade em níveis baixos. Discute-se a importância das condições pré-analíticas para evitar a contaminação, a transição tecnológica para

métodos analíticos mais sensíveis e a necessidade de unificar as unidades de medida ($\mu\text{g/L}$). Da mesma forma, detalha-se o impacto das novas regulamentações sobre a qualidade da água para consumo humano. Conclusões: Não existe um limiar de exposição seguro para o chumbo. O laboratório clínico, a atenção primária e a saúde ambiental devem estar coordenados. A saúde pública deve transitar de um modelo de prevenção secundária para um de prevenção primária total, focado na eliminação da fonte antes do contato biológico, a fim de proteger o potencial neurocognitivo das futuras gerações.

Palavras-chave: chumbo; saúde infantil; saúde ambiental; o laboratório clínico; prevenção primária.

Abstract

Introduction: Lead (Pb) is a neurotoxic heavy metal with no known biological function in humans. Despite legislative progress and the global phase-out of leaded gasoline, childhood exposure remains a critical environmental health challenge due to residual sources and obsolete infrastructure. **Objective:** To analyze lead toxicity in childhood, the evolution of reference values, modern laboratory analytical challenges, and current public health challenges. **Approach:** The article reviews the mechanisms of gastrointestinal absorption, enhanced by iron and calcium deficiencies, and neurotoxicity at low levels. The importance of pre-analytical conditions to prevent contamination is discussed, as well as the technological transition toward more sensitive analytical methods and the need to standardize measurement units ($\mu\text{g/L}$). Furthermore, the impact of new regulations on the drinking water quality is detailed. **Conclusions:** There is no safe exposure threshold for lead. Clinical laboratories, primary care, and environmental health must be coordinated. Public health must transition from a secondary prevention model to a total primary prevention model, focused on eliminating the source before biological contact, to protect the neurocognitive potential of future generations.

Keywords: lead; child health; environmental health; clinical laboratory; primary prevention.

INTRODUCCIÓN

El plomo (Pb) es un metal existente en el medio ambiente, para el que no se conoce ningún papel biológico en el organismo humano.

En el siglo XX el uso de tetraetilo de plomo como aditivo en la gasolina ha constituido la principal vía de exposición en la población general a nivel mundial, aunque el uso del plomo en las pinturas del interior de las viviendas también fue importante, sobre todo en EE.UU.¹

A principios de los años 80, la II Encuesta Nacional de Examen de Salud y Nutrición (NHANES) en EE.UU. supuso un éxito de los programas de biomonitorización, al observar una disminución de casi un 64 % en la concentración de plomo en todos los segmentos de la población, paralelo a la disminución del porcentaje de plomo en la gasolina². Se continuó reduciendo el plomo en la gasolina en todos los países, aunque han tenido que pasar 100 años desde la introducción del plomo en la gasolina en 1921 para eliminar su comercialización en el mundo. Argelia fue el último país que prohibió su comercialización en julio de 2021³.

Debido a las regulaciones sucesivas para eliminar o limitar el uso del plomo, muchos médicos y profesionales sanitarios consideran que el envenenamiento por plomo es un problema del pasado. Sin embargo, se sigue utilizando el plomo en el combustible de aviación, las municiones y las baterías de plomo-ácido para vehículos de motor. Por otra parte, la exposición persiste debido a

la pintura con plomo en casas antiguas, el plomo de la gasolina depositado en los suelos, el agua contaminada por tuberías con plomo o las emisiones de las plantas industriales e incineradoras. La ingestión y la inhalación son las principales vías de exposición al plomo y en muchos países el plomo se emite también a través de residuos electrónicos y se encuentra en pinturas, cerámicas, cosméticos, tabaco y especias^{4,5}.

El mayor riesgo de exposición al plomo en el momento actual lo tienen los niños, las mujeres embarazadas, el feto en desarrollo y algunos trabajadores. Las personas que beben agua del grifo procedente de tuberías de plomo o que viven cerca de aeropuertos u otros lugares que emiten contaminación por plomo están expuestas también a un mayor riesgo⁵.

Los fetos y los niños pequeños son especialmente vulnerables a los efectos neurológicos del plomo pues su cerebro y sistema nervioso están en desarrollo, reciben una dosis mucho más elevada por su menor peso con la misma exposición y porque presentan una mayor absorción del plomo tanto a nivel respiratorio como digestivo que los adultos⁶.

Los niños absorben el 40-50 % del Pb ingerido mientras que los adultos absorben entre el 3 a 10 % del Pb ingerido. La presencia de alimentos frecuente en el tracto gastrointestinal disminuye la absorción del Pb (de un 63 % en ayunas a un 3 %) por lo que es importante que los niños no tengan periodos de ayuno largos. El gateo, llevar las manos y objetos a la boca y el trastorno

de la pica hace que el mayor riesgo de exposición sea a los 2 años⁷.

En el embarazo también aumenta la absorción del plomo. Además, existe un aumento en la movilización del plomo del hueso⁶.

Por otra parte, los aspectos nutricionales son muy importantes para disminuir el riesgo en la exposición al plomo. El Pb, que imita al Ca, Fe y el Zn, puede entrar en las células a través de los canales del calcio y los transportadores de metales como el transportador de metales divalentes DMT 1⁸. Así, la deficiencia de Fe, Ca y proteínas aumenta la absorción del Pb. Además, el Ca disminuye la resorción ósea, inhibe la movilización ósea del plomo y aumenta la excreción de Pb desde la circulación. La deficiencia de Zn aumenta la absorción de Pb y su toxicidad, mientras que el Se disminuye su toxicidad^{9,10}. Aquellas personas con polimorfismos genéticos que aumentan la absorción de Fe o Ca, como los que causan la hemocromatosis, también presentan un aumento de la absorción de Pb¹¹.

La historia de la exposición poblacional al plomo en el siglo XX es uno de los mayores fracasos de la salud pública donde se ve el choque entre políticas sanitarias e intereses económicos, especialmente por el uso del Pb en las pinturas y como aditivo de las gasolinas¹². Además, durante décadas se ha potenciado más la prevención secundaria que la primaria en población infantil, identificando niños con una alta exposición que en ocasiones presentaban lesiones neurológicas irreversibles, en lugar de plantear políticas sanitarias donde se hiciera mayor hincapié en una prevención primaria que evitara la exposición y los daños generados por este metal¹³.

TOXICIDAD DEL PLOMO, NIVEL DE ACCIÓN Y VALOR DE REFERENCIA

Aunque la exposición al Pb en la población general ha disminuido en más de un 95 % desde la década de 1970, la carga de Pb en el organismo sigue siendo entre 10 y 100 veces superior a la carga de Pb en los seres humanos que vivían en la época preindustrial. En los adultos la exposición prolongada al Pb ambiental, con concentraciones en sangre que antes se consideraban bajas, es un factor de riesgo de insuficiencia renal crónica, hipertensión, enfermedad coronaria y cardiovascular en general⁵.

En cuanto a los efectos sobre la salud por la exposición al Pb durante el embarazo se ha observado, entre otros: infertilidad, aborto, partos prematuros, bajo peso al nacer y niños con retraso en el crecimiento intrauterino, alteraciones en el desarrollo neurológico y cognitivo del niño, hipertensión y aumento del riesgo cardiovascular en la madre^{6,7}.

Los efectos de la exposición al Pb ambiental en niños se alcanzan con concentraciones de plomo en sangre inferiores a las de los adultos y que antes se consideraban seguras. Entre otros efectos, se produce un déficit cognitivo, descenso del cociente intelectual, trastornos de conducta, déficit de atención con hiperactividad (TDAH), comportamiento antisocial, hipertensión y reducción de la variabilidad del ritmo cardíaco⁵.

El Pb es un metal tóxico del que no se conoce un umbral seguro para la salud. Es decir, la concentración en sangre que se debería tener para no presentar efectos adversos es 0. Cualquier cantidad presente en el organismo es tóxica. Sin embargo, a lo largo de la historia se han definido niveles tóxicos, de actuación, de preocupación o más recientemente valores de referencia^{7,14}.

Hay que tener presente a la hora de revisar la historia sobre el estudio de la toxicidad de este metal, que antes de 1970 la manera de valorar las intoxicaciones por plomo en la infancia se realizaba únicamente con datos clínicos, dificultando su claro reconocimiento¹⁵. En 1979, H. Needleman estudió los niveles de Pb en niños y una gran batería de medidas de inteligencia psicométrica, atención, lenguaje y comportamiento, controlando variables de confusión no relacionadas con el Pb. Después de controlar otras variables, observaron que los niños con Pb más elevado tenían un cociente intelectual seis puntos inferiores que los niños con Pb más bajo. También señalaron una puntuación inferior en medidas de atención y lenguaje, y peores resultados en la escala de comportamiento¹⁶.

Tras la publicación de varios de estos estudios, en 1978 los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC) de EE. UU. establecieron el nivel de toxicidad en 30 µg/dL, reduciéndolo en 1985 a 25 µg/dL¹⁷.

En 1991 los CDC, tras reevaluar la literatura existente, disminuyeron nuevamente el nivel a 10 µg/dL, señalando un nivel superior como "nivel de preocupación", elaborando guías de prevención e intervención¹⁸. En agosto del año 2005 los CDC establecieron que existía evidencia de que niveles de Pb en sangre inferiores a 10 µg/dL también se asociaban a efectos adversos en los niños, como déficit intelectual, trastornos en la audición, lenguaje, hiperactividad con déficit de atención, agresividad y comportamiento antisocial, aunque en este momento se decidió mantener el nivel de 10 µg/dL, al considerar que no existían posibles intervenciones clínicas que disminuyeran los niveles de Pb en los niños con concentraciones de plomo por debajo de 10 µg/dL, o que disminuyera el riesgo de efectos adversos en el desarrollo. Además, la diferente metodología que se utilizaba en la medición del Pb aumentaba la inexactitud cuando las concentraciones de Pb eran inferiores a 10 µg/dL, así como la falta de evidencia de que existiera un umbral seguro^{19,20}.

En 2012 el Comité Asesor para la Prevención de la Intoxicación por Plomo en la Infancia (ACCLPP) recomendó a los CDC eliminar el término usado previamente “nivel de preocupación” y usar un valor de referencia basado en el percentil 97,5 de la distribución de Pb de los niños entre 1 y 5 años de EE. UU. para identificar a los niños expuestos a más Pb que la mayoría de otros niños en EE. UU., que correspondía en ese momento a 5 µg/dL²¹. Esta recomendación se basó en la evidencia de que los efectos adversos para la salud en niños con concentraciones de Pb en sangre inferiores a 10 µg/dL incluían efectos neurológicos, cardiovasculares, inmunológicos y endocrinos²². Además, se recomendaba que el nuevo valor de referencia se actualizara cada cuatro años con datos de la NHANES y que se centraran las prioridades en la prevención primaria^{14,22}.

El valor de referencia además se debía utilizar como guía para:

- Ayudar a determinar si se debían iniciar acciones de seguimiento médico o ambiental para un niño individual.
- Dar prioridad a las comunidades con mayor necesidad de prevención primaria de la exposición y evaluar la eficacia de los esfuerzos de prevención.

El valor inicial de 5 µg/dL establecido en 2012, se basó en los datos de los ciclos NHANES 2007-2008 y 2009-2010. De acuerdo con las recomendaciones, el 29 de octubre de 2021, los CDC actualizaron el valor de referencia a 3,5 µg/dL, utilizando los datos de NHANES derivados de los ciclos 2015-2016 y 2017-2018²².

La interpretación errónea de los resultados de plomo en sangre y de las recomendaciones de los CDC a ese respecto por parte de los profesionales clínicos y de la salud pública ha supuesto un retraso en la detección de casos y en la búsqueda de fuentes de exposición y prevención de esta. En primer lugar, no ha habido o no se han seguido criterios de seguimiento o de confirmación de ese resultado de *screening* de Pb capilar en sangre venosa y, en ocasiones, no se ha tenido en cuenta el método de análisis ni la técnica empleada, lo que puede suponer que no exista transferibilidad de resultados entre laboratorios o incluso que algunos métodos sean inadecuados para el análisis en población general infantil por no presentar una sensibilidad, exactitud y precisión óptimos²³.

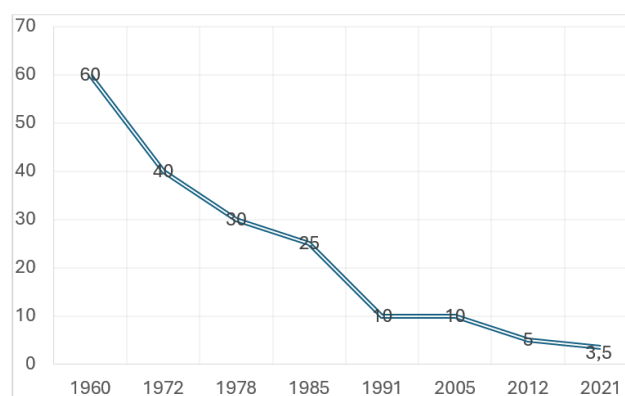
Otro error más importante ha sido considerar los umbrales de Pb en sangre recomendados por los CDC como límites de toxicidad.

En especial, en 1991 el “nivel de preocupación” de 10 µg/dL que era un nivel de actuación se ha

interpretado de forma masiva como el límite a partir del cual una concentración de Pb en sangre era tóxica. Esta mala interpretación ha contribuido también al cambio a “valor de referencia” pues no existe un umbral de plomo seguro y cualquier concentración de Pb en sangre produce toxicidad. Sin embargo, es frecuente leer nuevamente límite de toxicidad en la interpretación del valor de referencia. El valor de referencia es una medida poblacional que indica que el 2,5 % de los niños de EE. UU. de 1 a 5 años tienen un Pb en sangre igual o mayor a 3,5 µg/dL según la encuesta NHANES de esos años, aunque ahora es inferior, pero no es un límite de toxicidad ni un estándar de salud y el seguimiento médico o ambiental que se realice dependerá de las leyes, regulaciones y disponibilidad de los recursos existentes²². En aquellos países donde no se realiza biomonitorización y no se conoce la concentración de plomo en sangre en la población infantil, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que se utilice el valor de 5 µg/dL en lugar del valor de referencia de los CDC²⁴.

A continuación, en la figura 1, se aprecia la evolución de los valores de Pb en sangre de los CDC.

Figura 1. Plomo en sangre (µg/dL) en niños. CDC



Como ha quedado reflejado, la historia de la exposición poblacional al Pb es uno de los paradigmas donde se ve el choque entre políticas sanitarias e intereses económicos. Además, durante décadas se ha potenciado más la prevención secundaria que la primaria en la población infantil, identificando niños cuando ya presentaban lesiones neurológicas irreversibles¹³.

En el momento actual, los datos indican la no existencia de un umbral seguro de Pb para la salud, así como la necesidad de continuar disminuyendo las fuentes de exposición que siguen perpetuándose en la actualidad y continúan haciendo de ello un problema de salud pública, resultando la población infantil especialmente vulnerable a sus efectos²³.

DESAFÍOS ANALÍTICOS EN LA CUANTIFICACIÓN DE NIVELES BAJOS DE PLOMO

A medida que los valores de referencia de Pb en sangre han disminuido, el papel del laboratorio clínico ha pasado de ser un mero confirmador de intoxicaciones agudas a convertirse en una pieza angular de la vigilancia epidemiológica y la salud pública. Alcanzar un valor de referencia de 3,5 µg/dL plantea desafíos técnicos que exigen una revisión profunda de las metodologías empleadas. Algunos laboratorios pueden necesitar adquirir nueva instrumentación pues algunas técnicas como la espectrometría de absorción atómica de llama (FAAS) ya no son adecuadas para las necesidades actuales por su baja sensibilidad, pueden necesitar optimizar nuevos métodos de análisis, mejorar límites de detección, establecer nuevos criterios de repetición de la prueba o incluso solicitar una nueva extracción. También se necesitan medidas para eliminar la contaminación por plomo en los reactivos y los procesos del laboratorio y podrían aumentar las cargas de trabajo debido a las pruebas de repetición y confirmación adicionales²⁵.

1. FASE PREANALÍTICA

La sangre venosa, donde el Pb se encuentra en los eritrocitos en una proporción > 95%, es el *gold standard* para la medición de Pb en el organismo y el proceso comienza en el momento de la extracción. En las guías internacionales del Instituto de Estándares Clínicos y de Laboratorio (CLSI) se puede encontrar más información sobre las condiciones preanalíticas²⁶ y normas que se deben seguir en la medición de plomo en sangre²⁵.

La única preparación necesaria es evitar la contaminación y asegurarse de que el lugar de la recogida de muestra esté debidamente limpio antes de la extracción. Aunque se prefiere el conservante ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), se puede analizar sangre heparinizada, aunque esta última tiende a contener coágulos de fibrina con mayor frecuencia, lo que invalida el análisis. Con fines de cribado pediátrico es aceptable el nivel de Pb en sangre capilar obtenido mediante el método de punción digital, pero los resultados elevados deben confirmarse siempre con sangre venosa. El Pb en orina no se considera adecuado como prueba clínica individual, excepto en casos de exposición al plomo orgánico (por ejemplo, alquilplomo). Es poco común que la exposición al Pb inorgánico dé lugar a una concentración de Pb en la orina que, tras el ajuste de densidad, supere el 10 % de la concentración en sangre total²⁶. Además, el Colegio Americano de Toxicología Médica desaconseja el uso de la prueba de movilización de Pb o análisis de orina postquelación (provocado) para detectar carga corporal total de Pb, ya que esta prueba no ha sido validada científicamente, no

ha demostrado tener beneficios y puede ser perjudicial cuando se aplica en la evaluación de pacientes en los que existe preocupación por la exposición a este metal²⁵.

En relación con las condiciones de transporte y almacenamiento, las muestras de sangre pueden transportarse a temperatura ambiente. Las muestras pueden almacenarse refrigeradas o congeladas, dependiendo del tiempo estimado de almacenamiento, pero en este último caso deben transferirse a un criovial u otro tubo adecuado para su almacenamiento a ≤ -20 °C. Es recomendable consultar los requisitos del laboratorio de análisis para obtener información detallada sobre la recogida y el envío de muestras²⁶.

2. ASPECTOS ANALÍTICOS A CONSIDERAR EN EL ANÁLISIS DEL PLOMO EN SANGRE

Como se ha señalado con anterioridad, la contaminación debe minimizarse en todos los procedimientos de medición, materiales, reactivos, protegiendo las muestras analíticas del polvo en suspensión.

La mayoría de los métodos habituales de Pb en sangre desarrollados antes de 1980 solo eran capaces de medir con una precisión de ± 1 a 2 µg/dL a 10 µg/dL o incluso una precisión peor, por lo que los resultados se redondeaban al entero más cercano con fines clínicos. Posteriormente, incluso los métodos de espectrometría de absorción atómica con atomización electrotérmica y corrección Zeeman pueden alcanzar una repetibilidad de aproximadamente $\pm 0,2$ µg/dL en niveles bajos (<5 µg/dL) por lo que se puede informar con cierta confianza hasta el primer decimal en estos niveles. La evaluación de la precisión debe comunicarse tanto para la repetibilidad como para la reproducibilidad²⁵.

La veracidad y la comparabilidad siempre han sido objetivos importantes de las mediciones clínicas. Los materiales de referencia certificados (MRC) se han utilizado como base de veracidad para la producción de materiales de referencia (MR) secundarios. Los MRC pueden ser patrones de medición primarios para su uso como calibradores o MR matriciales para su uso como materiales de control de calidad. El material de referencia ideal debería ser un MR de sangre humana con Pb unido de forma endógena, que abarque el intervalo de concentraciones importantes para su aplicación y con certificado que utilice un procedimiento trazable a las unidades básicas del Sistema Internacional de Unidades, junto con una incertidumbre inferior a la que la aplicación puede tolerar y seguir siendo útil con un determinado nivel de confianza. Obviamente, casi ninguno de los materiales cumple todos los criterios para ser ideal y se han hecho concesiones por consideraciones éticas

y de otro tipo. En los casos en que el Pb está unido de forma endógena, la matriz sanguínea es generalmente de origen animal, mientras que si la matriz sanguínea es humana se añade Pb. Sin embargo, el consenso general es que el rendimiento de los instrumentos actuales no se ve afectado por las diferencias entre el Pb añadido y el endógeno en las concentraciones actuales. El principal ámbito en el que puede haber diferencias significativas es en el método de certificación pues la mayoría utilizan métodos consensuados en lugar de procedimientos de referencia primarios como la Espectrometría de Masas con Plasma de Acoplamiento Inductivo y Dilución Isotópica (ID-ICP-MS)²⁵.

En el momento actual, es muy importante que el laboratorio establezca distintas estrategias de calibración según el propósito del análisis y el método analítico seleccionado, que también determinará el rango óptimo de los estándares de calibración utilizados. Según las recomendaciones del CLSI,²⁵ para fines de evaluación clínica y diagnóstico en la infancia es recomendable incluir un valor ≤ 2 $\mu\text{g/dL}$, valores intermedios y un valor elevado de aproximadamente 40 $\mu\text{g/dL}$. Para una exposición laboral, los rangos serían los comunes de la exposición en adultos incluyendo un valor máximo de 60 $\mu\text{g/dL}$, mientras que para estudios de biomonitorización, especialmente en la población infantil, se requiere incluir estándares cercanos a los límites de detección y cuantificación, valores intermedios y un valor elevado de aproximadamente 40 $\mu\text{g/dL}$. Es importante que el laboratorio establezca un protocolo validado para manejar los valores de Pb en sangre que se encuentren por encima del estándar de calibración superior, independientemente del valor de este último. El material de calibración depende de la tecnología y el método analítico utilizados, pero siempre tienen que ser trazables al Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de EE. UU (NIST), al Centro Común de Investigación de la Comisión Europea (JRC) o a otro Instituto Nacional de Metrología.²⁵

Asimismo, se deben utilizar tres concentraciones para el control de calidad del Pb en sangre. Existen muchos protocolos válidos para la disposición de los controles dentro de una serie analítica. El laboratorio debe establecer la frecuencia y la ubicación de los controles de acuerdo con la solidez y la estabilidad del método²⁵.

La reducción de los valores de referencia de plomo en sangre ha supuesto que la participación de los laboratorios en programas externos de aseguramiento de calidad (EQA) es el único mecanismo de validación objetiva de la competencia técnica. La participación en dichos programas, que deben incluir valores bajos de Pb en sangre, ha dejado de ser una recomendación para convertirse en un imperativo técnico para garantizar la trazabilidad metrológica de los laboratorios y la

armonización de resultados, sin la cual los estudios epidemiológicos perderían validez al no poder comparar resultados de diferentes localizaciones o países. Además, la formación del personal para garantizar unas condiciones preanalíticas óptimas es el complemento indispensable del control de calidad externo^{25,27}.

3. INFORME DE RESULTADOS

No existe un umbral seguro de plomo en sangre para la salud. La forma en que se aplicará el valor de referencia en población infantil de los CDC de 3,5 $\mu\text{g/dL}$ o el recomendado por la OMS de 5 $\mu\text{g/dL}$ en países donde no existe biomonitorización, lo deberá determinar cada laboratorio y localidad en función del propósito de la prueba y el límite de detección de su método de análisis, teniendo en cuenta la incertidumbre del método utilizado en concentraciones de plomo en sangre < 5 $\mu\text{g/dL}$ ²³.

Existe también debate en relación con cómo se deben informar los valores inferiores al límite inferior de detección (LoD), que se define como una simple detección de la presencia de la magnitud medida con una probabilidad definida. En poblaciones en las que los niveles de Pb en sangre son bajos, las prácticas aceptadas para imputar los valores \leq LoD como por ejemplo $\text{LoD}/\sqrt{2}$ pueden dar lugar a un sesgo positivo. En el caso de estos estudios epidemiológicos, puede ser más válido utilizar el número real generado por el *software* del instrumento. Se debe tener precaución para garantizar que dichos valores solo se utilicen para calcular las estadísticas. Los resultados iguales o inferiores al LoD que se transmiten a los participantes en el estudio o a los proveedores de atención médica clínica deben comunicarse alfanuméricamente (por ejemplo, $<0,5$ $\mu\text{g/dL}$) o como $<\text{LoD}$ ²⁵.

Muchos laboratorios definen un umbral de notificación de bajo nivel como límite de cuantificación LoQ, que se puede definir como un múltiplo del LoD y es la cantidad mínima de Pb que se puede medir con una exactitud y precisión definidas. Sin embargo, el LoQ se puede considerar una decisión de "política" de laboratorio basada en una serie de posibles factores y en la "idoneidad" del laboratorio para su proceso de examen²⁵.

Otro desafío contemporáneo que enfrentan los profesionales de laboratorio y de salud pública es la interpretación y comunicación de los resultados analíticos. Actualmente, existe un movimiento científico que aboga por la sustitución de la unidad convencional ($\mu\text{g/dL}$) por la unidad internacional ($\mu\text{g/L}$). La mayoría de los metales pesados y elementos ultratraza (Hg, Cd, Se) se expresan habitualmente en $\mu\text{g/L}$. El plomo es una excepción histórica que utiliza el $\mu\text{g/dL}$, lo que a menudo genera

confusión. Cambiar a $\mu\text{g/L}$ supondría expresar el valor de referencia de $3,5 \mu\text{g/dL}$ como $35 \mu\text{g/L}$. Este cambio no es meramente estético; tiene una profunda implicación en la comunicación del riesgo. Las personas, incluidos los profesionales de la salud no especializados, tienden a minimizar la importancia de cifras decimales pequeñas (como $0,5 \mu\text{g/dL}$), percibiéndolas como “cercas a cero”. Al utilizar números enteros más altos ($5 \mu\text{g/L}$), se facilita la comprensión de que el metal está presente y que se requiere una acción preventiva. Además, las tecnologías modernas como el ICP-MS permiten emitir resultados con una precisión que se comunica de forma mucho más natural en $\mu\text{g/L}$, facilitando la comparación entre diferentes matrices biológicas y ambientales^{21,23}.

NUEVOS RETOS PARA LA SALUD PÚBLICA

Tras un siglo de exposición masiva al plomo derivada del uso de la gasolina y la pintura, la evidencia científica es abrumadora: cualquier nivel de Pb en sangre interfiere de manera permanente con el potencial cognitivo y la salud cardiovascular del ser humano.

Los profesionales de salud pública se enfrentan a desafíos en sus esfuerzos para disminuir la concentración de plomo en sangre de los niños, ya que la tendencia de ese descenso se ha estancado, lo que deja abierta la cuestión de si se puede esperar que las actividades individuales en el hogar reduzcan el plomo en sangre pues en la mayoría de los casos no se identifican fuentes evidentes. Además, el comportamiento y los resultados académicos de un individuo son sutiles y difíciles de predecir y se ha demostrado que los déficits neurológicos de la exposición temprana al plomo son persistentes. No obstante, la vigilancia de la salud pública sigue siendo fundamental para la identificación y prevención de fuentes de plomo emergentes/reemergentes.²⁸

La reducción generalizada de la contaminación por plomo ha sido la estrategia más efectiva para reducir la concentración de plomo en sangre de la población. Los profesionales de salud pública deben integrar las estrategias de prevención primaria en su trabajo actual. Por ello, los esfuerzos para reducir los niveles de plomo en agua reemplazando las tuberías de plomo son relevantes y reducirán los niveles de plomo en sangre. En los países desarrollados existe un control de calidad de agua para consumo, lo que nos puede llevar a pensar que el problema es exclusivo en la actualidad de países en vías de desarrollo o bien está limitado a los estratos socioeconómicos más desfavorecidos, pero nada más lejos de la realidad, como atestiguan casos ocurridos en países de los llamados desarrollados²⁹.

Un ejemplo conocido de ello es el ocurrido en Flint, Michigan (EE. UU.), que en 2012 cambió su fuente de

agua potable del lago Hurón al Río Flint, altamente contaminado, sin que se aplicase tratamiento alguno para contrarrestar la corrosión de las cañerías de plomo. La población infantil presentó niveles de plomo en sangre elevados, con cerca de 8000 menores de cinco años expuestos a daños cerebrales permanentes²⁹. A raíz de este caso se objetivó la existencia de agua para el consumo con niveles elevados de plomo también en otras áreas. En julio de 2023, un informe alertó del riesgo potencial de beber agua contaminada para uno de cada cinco neoyorquinos, a pesar de que las tuberías de plomo se prohibieron hace más de 60 años. En EE. UU. se han propuesto mejoras en 2023 en la nueva Acta de Plomo y Cobre de la EPA para reemplazar todas las tuberías de plomo durante 10 años³⁰. En España se presenta también un reto para aplicar el Real Decreto 3/2023, de 10 de enero, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo y su control en el que se establece que el valor paramétrico del Pb en agua de consumo de $5 \mu\text{g/L}$ se deberá cumplir el 2 de enero de 2035³¹.

Otro desafío para la salud pública es considerar usos alternativos al valor de referencia de plomo en sangre en los niños. Históricamente los valores de los CDC se han utilizado como guías de intervención clínica y de salud pública para los niños a nivel individual. Sin embargo, la adopción del último valor de referencia como umbral para intervenciones individualizadas supone un desafío para los profesionales de la salud pública y pediátrica. Dadas las limitaciones en las mediciones del laboratorio, la falta de intervenciones individuales efectivas y la incapacidad de predecir resultados a nivel individual, la práctica de esperar a que la concentración de plomo en sangre de un niño alcance un “valor de referencia” predeterminado o “nivel de preocupación” antes de reducir la contaminación de plomo ambiental ha dejado de ser útil. Es más recomendable la prevención primaria enfocada en controlar o eliminar el plomo en el ambiente de los niños antes de que se expongan y al mismo tiempo mantener recursos para responder rápidamente cuando los niños hayan estado expuestos. No obstante, el valor de referencia seguirá siendo crucial como punto de referencia para hacer un seguimiento del éxito de los esfuerzos en controlar o eliminar dichas fuentes^{21,28}.

El papel del laboratorio clínico, la atención primaria y la salud ambiental debe ser coordinado y proactivo. Solo a través de una vigilancia analítica de alta precisión, una legislación valiente y una inversión sostenida en infraestructuras seguras, podremos garantizar que las futuras generaciones de niños puedan desarrollar plenamente su potencial intelectual en un entorno libre de esta antigua pero persistente amenaza.

BIBLIOGRAFÍA

1. Lewis J. Lead poisoning: A historical perspective. U.S. Environmental Protection Agency 1985. Disponible en: <https://www.epa.gov/archive/epa/aboutepa/lead-poisoning-historical-perspective.html>. [Consultado el 2 enero 2026].
2. EPA: Controls and prohibitions. U S. Environmental Protection Agency Code of Federal Regulations 1997;40 CFR 80.22.
3. Vázquez Rodríguez GA. Crónicas del Antropoceno: el siglo del tetraetilo de plomo. *An Quim.* 2022; 118(2):110-7.
4. Mielke HW, Gonzales CR, Powell ET et al. Lead in air, soil, and blood: Pb poisoning in a changing world. *Int J Environ Res Public Health.* 2022; 19(15):9500. Doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph19159500>.
5. Lanphear B, Navas-Acien A, Bellinger DC. Lead poisoning. *N Engl J Med.* 2024; 391(17):1621-1631. Doi: <https://doi.org/10.1056/NEJMra2402527>.
6. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological profile for lead. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services; 2020 [consultado 2 ene 2026]. Disponible en: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13.pdf>.
7. American Academy of Pediatrics, Council on Environmental Health. Prevention of childhood lead toxicity. *Pediatrics.* 2016; 138(1):e20161493. Doi: <https://doi.org/10.1542/peds.2016-1493>. Erratum in: *Pediatrics.* 2017;140(2):e20171490. Doi: <https://doi.org/10.1542/peds.2017-1490>.
8. Kayaalti Z, Akyüzlü DK, Söylemezoğlu T. Evaluation of the effect of divalent metal transporter 1 gene polymorphism on blood iron, lead and cadmium levels. *Environ Res.* 2015;137: 8-13. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.11.008>.
9. Peraza MA, Ayala-Fierro F, Barber DS, et al. Effects of micronutrients on metal toxicity. *Environ Health Perspect.* 1998;106 (1): 203-16. Doi: <https://doi.org/10.1289/ehp.98106s1203>.
10. Mahaffey KR. Nutrition and lead: strategies for public health. *Environ Health Perspect.* 1995;103 Suppl 6:191-6. Doi: <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.95103s6191>.
11. Wright RO, Silverman EK, Schwartz J et al. Association between hemochromatosis genotype and lead exposure among elderly men: the normative aging study. *Environ Health Perspect.* 2004;112:746-50. Doi: <https://doi.org/10.1289/ehp.6581>.
12. Markowitz G, Rosner D. Lead wars. The politics of science and the fate of America's children. University of California Press. 2013.
13. Bellinger DC, Bellinger AM. Childhood lead poisoning: the torturous path from science to policy. *J Clin Invest.* 2006;116(4):853-7. Doi: <https://doi.org/10.1172/JCI28232>.
14. Ettinger AS, Ruckart PZ, Dignam T. Lead poisoning prevention: the unfinished agenda. *J Public Health Manag Pract* 2019;25(Suppl 1):S1-S2. Doi: <https://doi.org/10.1097/PHH.0000000000000902>.
15. Chisolm JJ. Childhood lead intoxication. Diagnosis, management, and prevention. *Med Times.* 1970;98(9):92-106.
16. Needleman ID, Sewell E, Shapiro I. Subclinical lead exposure in Philadelphia school children: identification by dentine lead analysis. *N Engl J Med.*1974; 290(5): 245-8. Doi: <https://doi.org/10.1056/nejm197401312900504>.
17. Centers for Disease Control and Prevention. Implementation of the Lead Contamination Control Act of 1988. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 1992; 41 (17): 288-90. PMID: 1314324.
18. Health and Human Services. Strategic Plan for the Elimination of Childhood Lead Poisoning. Washington, DC: US Department of Health and Human Services; 1991.
19. Centers for Disease Control and Prevention. Preventing Lead Poisoning in Young Children. Atlanta: CDC; 2005. Disponible en: https://www.cdc.gov/lead-prevention/media/pdfs/2025/03/cdc_97650_DS1.pdf [Consultado 2 Enero 2026].
20. Centers for Disease Control and Prevention. Third national report on human exposure to environmental chemicals. Atlanta: CDC 2z005. Disponible en <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/21809> [Consultado 2 Enero 2026].
21. Paulson JA, Brown MJ. The CDC blood lead reference value for children: time for a change. *Environ Health.* 2019;18:16. Doi: <https://doi.org/10.1186/s12940-019-0457-7>.
22. Ruckart PZ, Jones RL, Courtney JG, et al. Update of the blood lead reference value-United States, 2021. *MMWR.* 2021;70(43):1509-12. Doi: <http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm7043a4>.
23. González Estecha MM. Exposición al plomo. Nuevos desafíos de un viejo enemigo. Ed. Academia de Farmacia Santa María de España de la Región de Murcia. MU 000-2024.
24. WHO. Lead poisoning. 2023. Disponible en: https://www.who.int/health-topics/lead-poisoning#tab=tab_1 [Consultado el 2 enero 2026].
25. Parsons P, Brown MJ, González-Estecha M et al. Analytical Procedures for the Determination of Lead in Blood; Approved Guideline. Third Edition. Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI). Wayne, PA 2024.
26. Jones RL, Strong L, Fitzpatrick S et al. Control of Preexamination Variation in Trace Element Determinations. 2nd ed. Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI), Wayne, PA 2024.
27. Arnaud J, Patriarca M, Fofou-Caillierez MB, González-Estecha M et al. External quality assessment schemes for inorganic elements in the clinical laboratory: lessons from OELM scheme. *J Trace Elem Med Biol* 2020 (59) Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2019.126414>.
28. Woolf AD, Brown MJ. Old adversary, new challenges: childhood lead exposure and testing. *Pediatrics* 2022;149(5):e2021055944. Doi: <https://doi.org/10.1542/peds.2021-055944>.
29. Ettinger AS, Leonard ML, Mason J. CDC's Lead Poisoning Prevention Program: A Long-standing Responsibility and Commitment to Protect Children From Lead Exposure. *J Public Health Manag Pract* 2019;5 (1):S5-S12. Doi: <https://doi.org/10.1097/PHH.0000000000000868>.
30. United States Environmental Protection Agency (EPA). Lead and copper rule improvements 2024. Disponible en: <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/lead-and-copper-rule-improvements> [Consultado 2 Enero 2026].
31. Real Decreto 3/2023, de 10 de enero, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro. BOE Nº 9 de 11 de enero 2023.