

Evaluación de los niveles de plomo en sangre en niños con sospecha de trastorno en el neurodesarrollo

Assessment of blood lead levels in children with suspected neurodevelopmental disorders

Avaliação dos níveis de chumbo no sangue em crianças com suspeita de transtorno do neurodesenvolvimento

Aroldo Morón¹, Laura Aguilar¹, Valeria Fraga¹, Ma. José Moll², Santiago Mansilla³, Darío Pose², Victoria Ruiz¹, Amalia Laborde², Gabriel González¹

Resumen

Introducción: el plomo, reconocido como uno de los principales contaminantes por la Organización Mundial de la Salud (OMS), representa una amenaza para la salud infantil, incluyendo su impacto en el neurodesarrollo, con consecuencias graves y duraderas, generando importantes costos sociales. Es importante analizar esta problemática para influir positivamente en políticas de salud pública.

Objetivos: determinar la plumbemia en niños de 12 a 42 meses con sospecha de trastorno en el neurodesarrollo, investigar fuentes de exposición, realizar evaluación clínica estandarizada del neurodesarrollo y establecer la relación entre plumbemias y el perfil de neurodesarrollo.

Metodología: estudio observacional, descriptivo y transversal, con elaboración de historia clínica ambiental, examen neurológico, aplicación escala Bayley-III y plumbemia por punción digital LeadCare.

Resultados: se incluyeron 47 pacientes, edad media (30 meses). Los principales diagnósticos fueron autismo (50%) y problemas de lenguaje (34%), entre otros. El 60% de las plumbemias fueron <5 µg/dL. Las fuentes de exposición principales fueron suelos, quemas, contaminación barrial y onicofagia. Los dos últimos factores se asociaron con niveles de plumbemia significativamente mayores. El vínculo metalúrgico y el hábito de pica se asoció con menores puntajes cognitivos y de lenguaje en Bayley-III. Mayor tiempo de escolarización se asoció con menores niveles de plumbemias.

Conclusiones: nuestro estudio muestra que el 62% de los niños tienen niveles detectables de plomo, destacando la necesidad de medidas preventivas. La escolarización temprana podría resultar un factor protector. La onicofagia y el conocimiento sobre la contaminación por plomo barrial son fuentes de exposición relevantes. Recomendamos ampliar la investigación y aplicar políticas públicas para proteger el desarrollo infantil.

1. Médico. Unidad Académica Neuropediatría. CHPR. Facultad de Medicina. UDELAR.

2. Médico. Unidad Pediátrica Ambiental. Depto. de Toxicología. RAP-ASSE. Facultad de Medicina. UDELAR.

3. Médico. Depto. Métodos Cuantitativos. Facultad de Medicina. UDELAR.

Unidad Académica Neuropediatría. CHPR. Depto. Métodos Cuantitativos. Unidad Pediátrica Ambiental. Depto. de Toxicología. RAP-ASSE. Trabajo inédito.

Declaramos no tener conflictos de intereses.

Este trabajo ha sido aprobado unánimemente por el Comité Editorial.

Fecha recibido: 11 junio 2025.

Fecha aprobado: 16 junio 2026.

Palabras clave: Plomo
Intoxicación por Plomo
Trastornos del
Neurodesarrollo
Niño

Summary

Introduction: lead, recognized as a major pollutant by the World Health Organization (WHO), poses a significant threat to pediatric health, particularly through its adverse impact on neurodevelopment, resulting in severe, long-lasting consequences and substantial social costs. Analyzing this issue is essential to inform and positively shape public health policies.

Objectives: to determine blood lead levels (BLL) in children aged 12 to 42 months with suspected neurodevelopmental disorders, investigate sources of exposure, perform a standardized clinical neurodevelopmental evaluation, and establish the relationship between BLLs and neurodevelopmental profiles.

Methodology: an observational, descriptive, cross-sectional study incorporating an environmental clinical history, neurological examination, administration of the Bayley Scales of Infant and Toddler Development (Bayley-III), and blood lead level determination via fingerstick capillary sampling using the LeadCare point-of-care system.

Results: a total of 47 patients were included, with a mean age of 30 months. The primary diagnoses were autism spectrum disorder (50%) and language disorders (34%), among others. Sixty percent of BLLs were $\leq 5 \mu\text{g}/\text{dL}$. The main exposure sources identified were soil, open burning, neighborhood contamination, and onychophagia. The latter two factors were significantly associated with higher BLLs. An occupational or household connection to metallurgy and pica behavior were associated with lower cognitive and language scores on the Bayley-III. A longer duration of schooling was associated with lower blood lead levels.

Conclusions: our study demonstrates that

62% of children have detectable blood lead levels, underscoring the urgent need for preventive measures. Early schooling may act as a protective factor. Onychophagia and awareness/reports of neighborhood lead contamination represent significant exposure sources. We recommend expanding research and implementing public policies to safeguard child development.

Key words: Lead
Lead Poisoning
Neurodevelopmental Disorders
Child

Resumo

Introdução: o chumbo, reconhecido como um dos principais poluentes pela Organização Mundial da Saúde (OMS), representa uma ameaça à saúde infantil, incluindo seu impacto no neurodesenvolvimento, com consequências graves, duradouras e expressivos custos sociais. É fundamental analisar essa problemática para influenciar positivamente as políticas de saúde pública.

Objetivos: determinar a plumbemia em crianças de 12 a 42 meses com suspeita de transtorno do neurodesenvolvimento, investigar fontes de exposição, realizar avaliação clínica padronizada do neurodesenvolvimento e estabelecer a relação entre os níveis de plumbemia e o perfil do neurodesenvolvimento.

Metodologia: estudo observacional, descritivo e transversal, com elaboração de história clínica ambiental, exame neurológico, aplicação da escala Bayley-III e dosagem de plumbemia por punção digital (sistema LeadCare).

Resultados: foram incluídos 47 pacientes, com média de idade de 30 meses. Os principais diagnósticos foram transtorno do espectro autista (50%) e transtornos da linguagem (34%), entre outros. Sessenta por cento (60%) das plumbemias foram $\leq 5 \mu\text{g}/\text{dL}$. As principais fontes de exposição identificadas foram solo, queimadas, contaminação do bairro/comunitária e onicofagia. Os dois últimos fatores

associaram-se a níveis significativamente mais elevados de plumbemia. O vínculo com a atividade metalúrgica e o hábito de pica associaram-se a menores pontuações cognitivas e de linguagem na escala Bayley-III. Maior tempo de escolarização associou-se a menores níveis de plumbemia.

Conclusões: nosso estudo mostra que 62% das crianças apresentam níveis detectáveis de chumbo, destacando a necessidade de medidas preventivas. A escolarização precoce pode atuar como um fator de proteção. A onicofagia e o conhecimento/relato sobre a contaminação comunitária por chumbo constituem fontes de exposição relevantes. Recomendamos a ampliação das pesquisas e a implementação de políticas públicas para proteger o desenvolvimento infantil.

Palavras chave: Chumbo

Intoxicação por Chumbo
Transtornos do
Neurodesenvolvimento
Criança

Introducción

El medio ambiente influye significativamente en la salud infantil, el plomo ha demostrado ser particularmente dañino para el desarrollo neurológico. La OMS identifica al plomo como uno de los principales químicos preocupantes para la salud pública^(1,2). Su exposición afecta el desarrollo intelectual y conductual, con manifestaciones comunes de trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH), problemas conductuales y déficit intelectual, responsable del 12,4% de los casos a nivel mundial^(3,4). En 2017, la exposición al plomo causó 1,06 millones de muertes y 24,4 millones de años de vida ajustados por discapacidad, con mayor impacto en países de bajos y medianos ingresos⁽⁵⁾. Este metal, sin función fisiológica humana, debe tener niveles plasmáticos ideales de cero⁽⁶⁾.

En Uruguay, desde 2001, la exposición al plomo es un problema de salud pública, con intervenciones que incluyeron remediación de suelos y reubicación de familias radicadas en áreas contaminadas^(7,8). La legislación uruguaya desde 2004 ha reducido gradual-

mente el plomo en gasolina y pinturas. Los niños son más vulnerables a los tóxicos ambientales debido a su conducta y desarrollo fisiológico^(1,2,9,10). Las principales vías de exposición son digestiva, aérea y cutánea. Entre las fuentes de contaminación se encuentran baterías, pinturas, juguetes y antiguas tuberías de agua^(2,9,10).

Los síntomas de intoxicación por plomo varían según la duración de la exposición y los niveles sanguíneos, siendo la forma crónica la más común. Afecta múltiples sistemas, incluyendo gastrointestinal, renal, hematopoyético y neuromuscular⁽⁹⁾. Las manifestaciones neuropsicológicas incluyen disminución del coeficiente intelectual, problemas de comportamiento como inatención, agresividad, hiperactividad y bajo rendimiento académico⁽¹¹⁻¹⁵⁾. Estudios han demostrado que niveles de plomo en sangre menores a 10 µg/dL se asocian con TDAH^(16,17). Además, se ha observado que la exposición al plomo está vinculada con el trastorno del espectro autista (TEA), discapacidad intelectual y alteraciones en habilidades motoras, lenguaje y funciones ejecutivas^(1,18).

Dado el vínculo entre la exposición al plomo y los trastornos del neurodesarrollo, este estudio busca determinar los niveles de plomo en sangre en niños derivados por sospecha de trastornos del neurodesarrollo al Servicio de Neuropediatría del Centro Hospitalario Pereira Rossell (CHPR) con edad comprendida entre 12 a 42 meses, investigar la fuente de exposición, realizar evaluación clínica y estandarizada del desarrollo infantil en la población captada y establecer qué relación existe entre los niveles de plomo en sangre y el perfil del neurodesarrollo.

Metodología

Se realizó un estudio observacional, descriptivo y transversal. La población de estudio fue constituida por pacientes de 12 a 42 meses de edad, derivados por pediatra, por presentar uno o más signos de alerta del neurodesarrollo, al Servicio de Neuropediatría del CHPR, durante el período marzo a junio 2022. Inicialmente fueron evaluados 56 pacientes que cumplían criterios de inclusión. Sin embargo, en 47 de ellos se logró realizar la determinación de plumbemia, constituyendo estos la muestra final analizada.

Los criterios de inclusión fueron: niñas/os de 12 a 42 meses derivados al CHPR por presencia de uno o más signos de alerta, en una o más áreas del neurodesarrollo. Se excluyeron pacientes con patologías neurológicas, sensoriales o genéticas previas, sospechadas o confirmadas.

Se consideraron las siguientes variables: edad, sexo, estado nutricional, examen neurológico, nivel

educacional de los padres, niveles de plomo en sangre ($\mu\text{g/dL}$), nivel de desarrollo cognitivo, nivel de desarrollo del lenguaje, nivel de desarrollo motor y variables ambientales de probable exposición a plomo, según historia clínica ambiental.

Los datos se recolectaron mediante la realización de historia clínica neuropediátrica y el examen clínico neurológico a cargo de neuropediatra. Para la valoración del perfil de desarrollo se utilizó la escala Bayley del Desarrollo Infantil-III aplicada por licenciadas en psicomotricidad y salud ocupacional experimentadas en la evaluación del desarrollo infantil. Se diseñó para este proyecto una historia clínica ambiental completa que permitió detectar la exposición a plomo. La historia clínica ambiental fue aplicada durante la consulta clínica por el neuropediatra responsable del estudio. El instrumento incluyó preguntas estructuradas sobre características del hogar, presencia de suelos potencialmente contaminados, exposición a quemaduras, percepción de contaminación ambiental en el barrio, antecedentes laborales de los convivientes relacionados con actividades metalúrgicas y hábitos conductuales potencialmente asociados a exposición, como pica y onicofagia. Las variables ambientales fueron registradas como variables dicotómicas (presencia/ausencia), incluyendo hábito de pica, onicofagia, exposición a quemaduras, contaminación ambiental barrial y vínculo ocupacional con actividades metalúrgicas.

La medición de niveles de plomo en sangre (plombemia) se realizó a través de la extracción de sangre por punción digital efectuada por personal especializado. Los niveles de plomo en sangre se determinaron utilizando el método de voltimetría anódica por LeadCare (Meridian Bioscience, Inc.), un método ampliamente utilizado y aceptado, con buena sensibilidad y especificidad. Eventualmente, de no disponer de reactivos para el método por LeadCare, se coordinó con laboratorio del CHPR a los efectos de realizar el estudio por extracción de 5 cc de sangre periférica por personal especializado. La determinación, utilizando el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica con ionización electrotérmica (GFAAS), es un método ampliamente utilizado y aceptado como método de referencia internacional. El traslado de la muestra se realizó cumpliendo con las precauciones universales en el manejo de muestras biológicas hasta el laboratorio del Departamento de Toxicología de la Facultad de Medicina de la Universidad de la República. Una vez obtenidos los resultados de plombemia, los casos con niveles elevados fueron derivados al equipo de la Unidad Pediátrica Ambiental, donde se incluyeron en el protocolo nacional de plomo (Ordenanza 123/2009, Ministerio de Salud Pública).

Métodos estadísticos

Las variables cuantitativas fueron resumidas mediante su media y desvío estándar (DE), mientras que las cualitativas se representan mediante su frecuencia absoluta y relativa porcentual. La asociación entre variables cualitativas se representó mediante tablas de contingencia.

La comparación entre 1) la plombemia ($\mu\text{g/dL}$) y 2) los percentiles de los tres dominios (cognitivo, lenguaje y motor) de la escala de Bayley-III, se compararon según la exposición a los distintos factores ambientales mediante la prueba U de Mann-Whitney, debido a que la distribución de las variables en la muestra no presentó distribución normal. La correlación entre la plombemia y 1) los percentiles de la escala de Bayley-III y 2) medidas antropométricas, se evaluó mediante el coeficiente de correlación de Spearman.

Todas las pruebas estadísticas realizadas fueron bilaterales y se consideraron como estadísticamente significativos valores $p < 0,05$. El análisis estadístico y representación gráfica fueron realizados mediante los programas JASP (v0.18.3) y GraphPadPrism (v8.4.3).

Consideraciones éticas

El estudio fue aprobado por el Comité de Ética correspondiente del CHPR. Los padres o tutores legales de los niños participantes recibieron información sobre los objetivos del estudio y otorgaron su consentimiento informado previo a la inclusión de los pacientes. La investigación se llevó a cabo respetando los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki para investigación en seres humanos.

Resultados

Características de la muestra

En la tabla 1 se presentan las características sociodemográficas de la muestra inicial, compuesta por 56 pacientes. El 75% correspondió a sexo masculino y el 25% a sexo femenino. La edad media fue de 30,6 meses (DE 6,8). Los datos antropométricos mostraron un peso medio de 14 kg (DE 2,2), una talla media de 90,6 cm (DE 6,9) y un perímetro craneano medio de 49,4 cm (DE 2,2).

En relación con la escolarización, el 73,2% de los niños asistía a CAIF (Centros de Atención a la Infancia y la Familia), el 8,9% concurría a jardín o guardería y el 17,9% no se encontraba escolarizado. En cuanto al nivel educativo de los padres, 7,1% tenía primaria incompleta, 7,1% primaria completa, 62,6% secundaria incompleta, 14,3% secundaria completa y 7,1% estudios terciarios completos.

El nivel socioeconómico familiar fue evaluado mediante el Índice de Nivel Socioeconómico (CINVE 2018, Uruguay). La mayoría de los participantes pertenecía a estratos socioeconómicos bajos (78,6%).

Motivo de derivación y diagnóstico clínico

El principal motivo de derivación fue la preocupación

por el área del lenguaje, presente en el 58,9% de los casos (33 pacientes). En el 26,7% (15 pacientes) se reportaron preocupaciones en más de un área del desarrollo. Las derivaciones por dificultades en el área motora representaron el 5,4% (3 pacientes), mientras que los problemas de comportamiento y de relacionamiento social representaron cada uno el 3,6% (2 pacientes). Un paciente (1,8%) fue derivado por dificultades relacionadas con el sueño.

Tras la evaluación neuropediátrica, los diagnósticos clínicos más frecuentes fueron trastorno del espectro autista (50%; 28 pacientes) y trastornos del lenguaje (33,9%; 19 pacientes). En menor proporción se identificaron retraso global del desarrollo (5,4%; 3 pacientes), problemas de motricidad (3,5%; 2 pacientes) y problemas de comportamiento (1,8%; 1 paciente). En el 5,4% de los casos (3 pacientes) no se identificaron alteraciones del neurodesarrollo. La relación entre el motivo de derivación y el diagnóstico clínico final se presenta en la tabla 2.

Determinación de plumbemia

Del total de pacientes evaluados (n=56), fue posible realizar la determinación de plumbemia mediante LeadCare en 47 niños (83,9%). En los nueve casos restantes no fue posible obtener la medición debido a muestra insuficiente.

Entre los 47 pacientes con determinación disponible, el 38% (18 pacientes) presentó valores no detectables (<3,0 µg/dL). El 21% (10 pacientes) presentó niveles menores a 4,9 µg/dL, el 30% (14 pacientes) valores entre 5,0 y 9,9 µg/dL, el 8% (4 pacientes) entre 10 y 19,9 µg/dL y el 2% (1 paciente) niveles mayores a 20 µg/dL.

Factores ambientales asociados a plumbemia

La relación entre los factores de exposición ambiental y los niveles de plumbemia se presentan en la tabla 3 y la figura 1. Se observó que el conocimiento de con-

Tabla 1. Características sociodemográficas de los pacientes.	
Variables	Total (n=56)
Edad (meses), media (DE)	30,6 (6,8)
Sexo, n (%)	
Masculino	42 (75)
Femenino	14 (25)
Peso (kg), media (DE)	14,0 (2,2)
Talla (cm), media (DE)	90,6 (6,9)
Perímetro craneano (cm), media (DE)	49,4 (2,2)
Escolarización, n (%)	
CAIF	41 (73,2)
Jardín/guardería	5 (8,9)
No escolarizado	10 (17,9)
Máximo nivel educativo de los padres, n (%)	
Primaria incompleta	4 (7,1)
Primaria completa	4 (7,1)
Secundaria incompleta	35 (62,6)
Secundaria completa	8 (14,3)
Terciaria incompleta	0 (0)
Terciaria completa	4 (7,1)
Sin datos	1 (1,8)
INSE*	
Medio alto	3 (5,4)
Medio	3 (5,4)
Medio bajo	6 (10,7)
Bajo	44 (78,6)

* Índice de Nivel Socio-Económico (CINVE 2018, Uruguay)

Tabla 2. Asociación entre el diagnóstico clínico y el motivo de derivación.							
Diagnóstico clínico							
Motivo de derivación	TEA	Problemas del lenguaje	Retraso global del desarrollo	Problemas de motricidad	Problemas de comportamiento	Normal	Total
Lenguaje	12 (36,4)	16 (48,5)	2 (6,1)	0	0	3 (9,1)	33 (100)
Desarrollo	11 (33,3)	3 (20,0)	1 (6,7)	0	0	0	15 (100)
Motor	1 (33,3)	0	0	2 (66,7)	0	0	3 (100)
Comportamiento	1 (50,0)	0	0	0	1 (50,0)	0	2 (100)
Social	2 (100)	0	0	0	0	0	2 (100)
Sueño	1 (100)	0	0	0	0	0	1 (100)

Tabla 3. Relación entre la plombemia medida por LeadCare y factores ambientales.

	n	Plombemia LeadCare (µg/dL)	Valor p
1) Conocimiento de contaminación con plomo en el barrio			
Sí	3	11,1 (5,6)	0,037
No	40	4,9 (6,1)	
2) Terreno: pasivo industrial			
Sí	5	4,7 (5,9)	0,909
No	39	4,5 (4,7)	
3) Quema en el barrio			
Sí	17	7,2 (7,3)	0,137
No	28	4,4 (5,04)	
4) Almacena metales, chatarra, etc.			
Sí	5	6,6 (6,2)	0,666
No	43	5,2 (6,0)	
5) Vivienda construida hace más de 15 años			
Sí	24	5,4 (5,3)	0,370
No	22	4,8 (6,4)	
6) Vínculos con individuos con plombemia elevada			
Sí	2	12,5 (7,1)	0,059
No	35	4,5 (4,6)	
7) Vínculos con metalúrgica			
Sí	11	4,4 (3,4)	0,840
No	37	5,2 (6,3)	
8) Clasificadores de basura en el hogar			
Sí	11	5,7 (3,7)	0,446
No	37	5,2 (6,2)	
9) Hábito de pica			
Sí	20	4,3 (4,8)	0,446
No	29	5,9 (6,6)	
10) Onicofagia			
Sí	6	9,4 (5,1)	0,022
No	43	4,7 (5,8)	
11) Niño lleva objetos a la boca			
Sí	31	4,9 (5,1)	1,000
No	18	5,9 (7,3)	
12) Fumadores en el hogar			
Sí	31	4,8 (4,9)	0,915
No	18	5,9 (7,4)	

taminación por plomo en el barrio y la presencia de onicofagia se asociaron con niveles más elevados de plombemia.

En contraste, factores como la presencia de terreno con pasivo industrial, quemas en el barrio, almacenamiento de metales o chatarra en el hogar, el hábito de pica y la presencia de fumadores en el hogar, no mostraron diferencias estadísticamente significativas en

los niveles de plombemia.

Asimismo, se observó una diferencia en los niveles de plombemia según la escolarización. Los niños escolarizados (n=43) presentaron una media de plombemia de 4,3 µg/dL (DE 4,7), mientras que los no escolarizados (n=6) presentaron una media de 12,2 µg/dL (DE 9,4), observándose una diferencia estadísticamente significativa (p = 0,019).

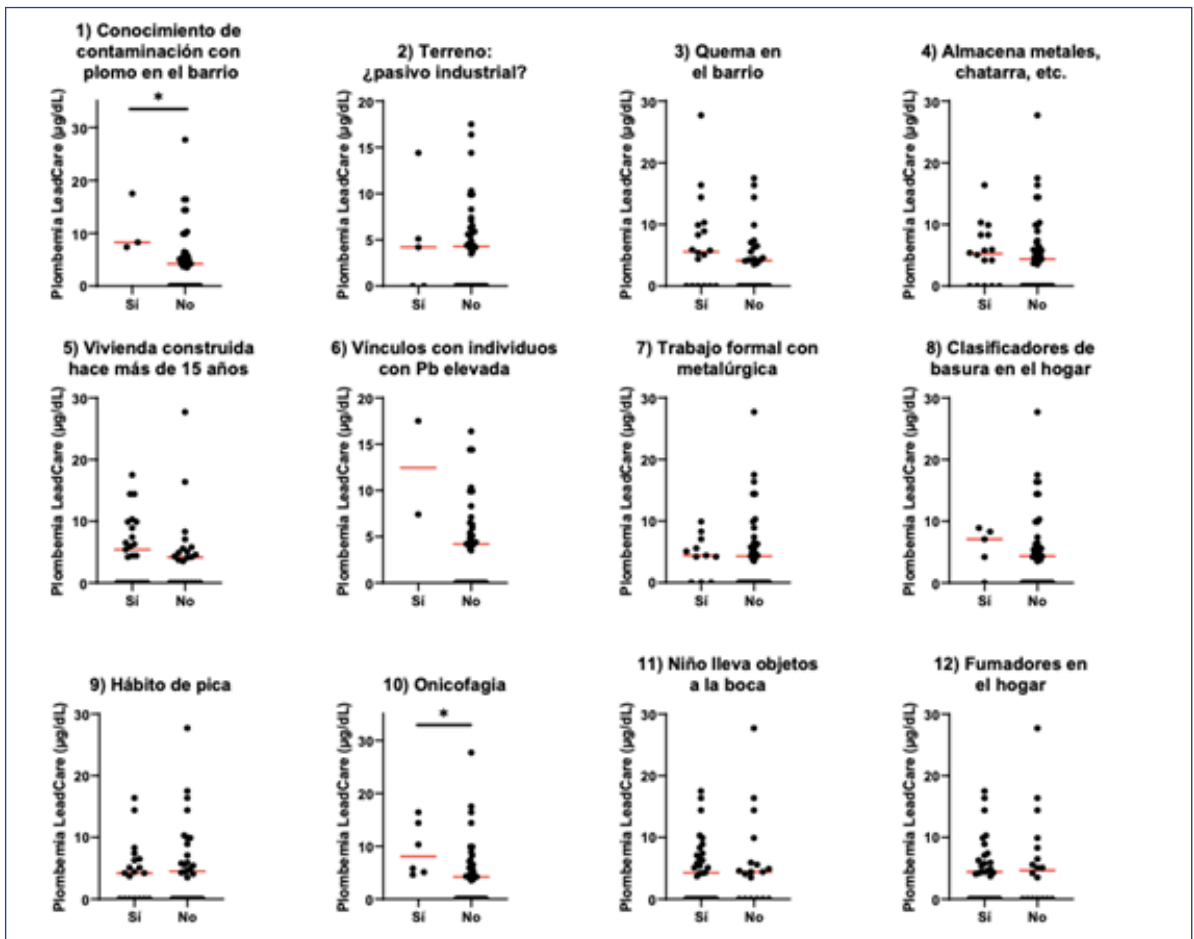


Figura 1. Fuentes de exposición al plomo y su relación con la plombemia por LeadCare.

Factores ambientales y neurodesarrollo

Se exploró la relación entre los factores de riesgo ambiental y el desempeño en la escala Bayley-III. Los resultados se presentan en la tabla 4. Se observó que el vínculo con actividad metalúrgica y el hábito de pica se asociaron con menores puntajes en los dominios cognitivo y de lenguaje.

Relación entre plombemia y desarrollo

La correlación entre los niveles de plombemia y los percentiles de los dominios cognitivo, lenguaje y motor de la escala Bayley-III se presenta en la tabla 5. No se observaron correlaciones estadísticamente significativas entre estas variables.

Relación entre plombemia y medidas antropométricas

Finalmente, se analizó la relación entre los niveles de plombemia y las medidas antropométricas (perímetro

craneano y talla). Como se muestra en la tabla 6, no se identificaron correlaciones estadísticamente significativas entre estas variables.

Discusión

La intoxicación por plomo es un importante problema de salud pública con efectos perjudiciales en el desarrollo neurológico y la función cognitiva, especialmente en los niños⁽¹⁹⁾. La exposición al plomo se ha relacionado con varios trastornos del desarrollo, como bajo coeficiente intelectual, problemas de conducta y TEA⁽²⁰⁾. Los estudios han puesto de relieve la naturaleza tóxica del plomo, haciendo hincapié en su capacidad de afectar al cerebro, el corazón, los riñones y los órganos reproductores, lo que tiene consecuencias duraderas en la salud y el comportamiento^(21,22). Los efectos neurotóxicos del plomo sobre las vías de plasticidad sináptica y los mecanismos epigenéticos subra-

Tabla 4. Relación entre percentiles de la escala Bayley y los factores de riesgo ambiental.

	Cognitivo	Lenguaje	Motriz
1) Conocimiento contaminación con plomo en el barrio	0,848	0,321	0,177
2) Terreno: pasivo industrial	0,262	0,675	0,625
3) Quema en el barrio	0,221	0,293	0,246
4) Almacena metales, chatarra, etc.	0,432	0,094	0,683
5) Vivienda construida > 15 años	0,593	0,569	0,401
6) Vínculo con individuos con plumbemia elevada	0,623	0,233	0,135
7) Vínculos con metalúrgica	0,009	0,005	0,509
8) Clasificadores de basura en el hogar	0,522	0,102	0,677
9) Hábito de pica	0,507	0,037	0,916
10) Onicofagia	0,589	0,298	0,802
11) Niño lleva objetos a la boca	0,598	0,747	0,766
12) Fumadores en el hogar	0,443	0,228	0,677

Tabla 5. Relación entre niveles de plumbemia y percentiles de la escala Bayley.

	Spearman's rho	p
LeadCare Percentil cognitivo Bayley	- 0,093	0,565
LeadCare Percentil lenguaje Bayley	0,029	0,859
LeadCare Percentil motriz Bayley	- 0,006	0,972

Tabla 6. Relación entre niveles de plumbemia y medidas antropométricas.

	Spearman's rho	p
LeadCare Perímetro craneano	0,218	0,137
LeadCare Talla	0,198	0,173

yan su asociación con los trastornos cognitivos y neurológicos, lo que arroja luz sobre la intrincada relación entre la exposición al plomo en el medio ambiente y los resultados del desarrollo⁽¹⁹⁾. Comprender el impacto multifacético de la intoxicación por plomo en los trastornos del desarrollo es crucial para implementar estrategias eficaces de prevención e intervención que protejan la salud pública.

En el presente trabajo se investigó la relación entre el neurodesarrollo y la plumbemia, así como los fac-

tores de riesgo de exposición al plomo, en una población específica, consistente en pacientes que consultan en una policlínica especializada en neurodesarrollo. Nuestra principal limitación metodológica fue debida al diseño, ya que se trata de una muestra por conveniencia, no tomada al azar, sin contar con un grupo de pacientes control sanos. Además, la limitada disponibilidad de recursos materiales para realizar las pruebas de plumbemia por LeadCare, resultó en la participación de un número reducido de sujetos en el estudio.

Este trabajo presenta algunas limitaciones que deben ser consideradas al interpretar los resultados. En primer lugar, el tamaño muestral fue reducido, lo que puede limitar la potencia estadística para detectar asociaciones más sutiles. Asimismo, la muestra corresponde a pacientes derivados a una policlínica especializada en neurodesarrollo, por lo que se trata de una muestra por conveniencia y los resultados no pueden generalizarse a la población pediátrica general. Otra limitación corresponde al método de medición de plumbemia mediante LeadCare capilar, que, si bien es ampliamente utilizado en contextos clínicos y epidemiológicos, puede presentar limitaciones metodológicas en comparación con métodos confirmatorios de laboratorio. Finalmente, el diseño transversal del estudio permite identificar asociaciones entre variables, pero no establecer relaciones causales.

En nuestra muestra de 56 pacientes predominan los masculinos (75%), lo que concuerda con estudios que muestran una mayor incidencia de trastornos del neurodesarrollo en niños varones⁽²³⁾. La edad promedio en nuestra muestra fue de 30,6 meses. Los principales motivos de derivación fueron alteraciones del lenguaje

(58,9%) y preocupaciones en más de un área del desarrollo (26,7%), con diagnósticos finales de TEA en el 50% y problemas de lenguaje en el 33,9%. Es sabido que la edad de diagnóstico es variable a nivel regional en América Latina y el Caribe. Los cuidadores expresaron preocupaciones sobre el desarrollo a los 22 meses, pero el diagnóstico se recibió aproximadamente a los 46 meses⁽²⁴⁾, resaltando la necesidad de mejorar el acceso y la velocidad en la evaluación de trastornos del neurodesarrollo en la región. El diagnóstico prevalente en los trastornos del neurodesarrollo infantil es el TDAH, seguido por los trastornos del aprendizaje y el TEA^(25,26). Relacionado a la etapa etaria investigada en nuestra muestra, los signos de alerta tempranos determinaron que el diagnóstico principal fue el de TEA, seguido por los problemas en el lenguaje.

Los estudios han demostrado que la exposición al plomo puede tener efectos perjudiciales para el neurodesarrollo y la salud en general y no se ha identificado un nivel seguro de plumbemia^(27,28). El 62% de nuestros pacientes presentaron niveles detectables de plomo en sangre. Diversos estudios revelan gran variabilidad en la prevalencia de intoxicación por plomo en niños a nivel mundial. Un informe de UNICEF estima que 1 de cada 3 niños en el mundo tiene niveles de plomo en sangre iguales o superiores a 5 $\mu\text{g/dL}$ ⁽²⁹⁾. En Estados Unidos la prevalencia en niveles socioeconómicos altos se ha reportado hasta en el 29%⁽³⁰⁾. En América Latina, la intoxicación por plomo afecta a un porcentaje significativo de niños: 20,8% en México, 22% en Perú (áreas mineras) y 15% en Brasil (zonas industriales) tienen niveles elevados de plomo en sangre⁽³¹⁾. Comparativamente, nuestro estudio realizado en una muestra pequeña de 47 pacientes de una población vulnerable, revela una prevalencia alarmante del 62% de niños con niveles detectables de plomo en sangre. Estos hallazgos destacan la gravedad del problema en poblaciones específicas y la necesidad urgente de medidas preventivas y de control para reducir la exposición al plomo y proteger la salud infantil.

Se estudió la diferencia entre los niveles de plumbemia para las distintas respuestas del cuestionario de factores de riesgo ambiental mediante la prueba U de Mann-Whitney. Según la literatura, las industrias como la minería, el procesamiento de desechos electrónicos, el reciclaje de baterías y la reparación electrónica son los principales culpables de la exposición al plomo. Adicionalmente, actividades vinculadas a la metalúrgica y los procesos industriales contribuyen significativamente a la contaminación ambiental y a la contaminación humana⁽³²⁾. En nuestra población de estudio, estos factores no mostraron una asociación significativa con los niveles de plomo en sangre. En-

contramos diferencias estadísticamente significativas entre el conocimiento previo de la contaminación por plomo en el barrio ($p = 0,037$), la presencia de onicofagia ($p = 0,022$) y niveles elevados de plomo en sangre según las mediciones con LeadCare (Tabla 3 y Figura 1). La OMS estima que aproximadamente el 48% de los casos de intoxicación por plomo notificados en niños no son intencionales⁽³³⁾, lo que subraya la vulnerabilidad de la población pediátrica a la exposición al plomo y la necesidad urgente de medidas e intervenciones preventivas eficaces.

Nuestro estudio reveló hallazgos significativos en relación con las fuentes de exposición al plomo y sus efectos en el desarrollo cognitivo y del lenguaje en niños medidos a través de la escala Bayley-III, resultados que deben interpretarse como asociaciones observadas en esta muestra específica. En particular, encontramos que los niños que residían en hogares vinculados a metalúrgicas mostraron resultados descendidos en la escala cognitiva ($p = 0,009$) y del lenguaje ($p = 0,005$), lo que sugiere una posible asociación con menores puntuaciones en habilidades cognitivas y lingüísticas. Además, observamos que los niños con hábitos de pica también presentaron resultados en percentiles descendidos en la escala de lenguaje ($p = 0,037$), sugiriendo una asociación entre este comportamiento y efectos negativos en el desarrollo de dicha función (Tabla 4). Comparativamente, estudios previos, como el realizado en Estados Unidos⁽³⁴⁾, han demostrado que niveles más altos de plomo en sangre están asociados con reducciones significativas en las puntuaciones de coeficiente intelectual y habilidades cognitivas, lo cual coincide con nuestros hallazgos en relación con la escala cognitiva. Además, investigaciones en China⁽³⁵⁾ han encontrado que la exposición prenatal al plomo se relaciona inversamente con el desarrollo del lenguaje receptivo y expresivo en niños, reflejando similitudes con nuestras observaciones sobre el impacto del hábito de pica y los resultados en la escala del lenguaje. Del mismo modo, un estudio en México^(36,37) ha reportado deficiencias en el lenguaje y funciones cognitivas asociadas con la exposición al plomo, ampliando la comprensión de los efectos adversos en contextos urbanos similares a los analizados en nuestra investigación.

Al explorar la relación entre niveles de plumbemia y los resultados obtenidos en la escala de Bayley-III (Tabla 5), no encontramos correlaciones estadísticamente significativas. Sin embargo, es crucial destacar que la literatura científica abunda en evidencia que vincula la exposición al plomo con efectos adversos en el neurodesarrollo, como lo han demostrado estudios previos en diversos contextos. Por ejemplo, in-

vestigaciones similares han identificado asociaciones claras entre niveles elevados de plomo y disminución en las puntuaciones de desarrollo cognitivo y del lenguaje en niños^(38,39). También se investigó la relación entre los niveles de plomo en sangre y medidas antropométricas como el perímetro craneano y la talla en niños. A diferencia de otros estudios, no encontramos correlaciones estadísticamente significativas entre estos parámetros de crecimiento y los niveles de plomo en nuestra muestra. Esta falta de asociación directa contrasta con la literatura que ha documentado efectos adversos de los niveles de plomo en sangre y alteraciones en las medidas antropométricas⁽⁴⁰⁾. Algunos estudios han planteado que estos hallazgos podrían relacionarse con mecanismos endócrinos y metabólicos asociados a la exposición al plomo⁽⁴⁰⁾, aunque los mecanismos exactos no están completamente comprendidos. Es importante considerar que la falta de significancia estadística en nuestros resultados podría estar influenciada por el tamaño limitado de la muestra y variaciones en la exposición al plomo de la población estudiada, afectando la capacidad de detectar relaciones sutiles entre la plumbemia, alteraciones del neurodesarrollo y medidas antropométricas. Además, podría sugerir que los hallazgos de niveles elevados de plomo en sangre en nuestra población corresponden con intoxicación aguda y no crónica al plomo.

En el contexto de nuestro estudio sobre la exposición al plomo y sus efectos en el neurodesarrollo infantil, exploramos diversos factores que podrían influir tanto en los niveles de plumbemia como en las medidas de desarrollo cognitivo, motor y lingüístico en niños. Entre estos factores, la escolarización emergió como un punto focal de interés. Analizando los datos de nuestra muestra de 47 niños con medida de LeadCare, se observó que los niños escolarizados presentaron una plumbemia significativamente más baja en comparación con los no escolarizados, con una diferencia estadísticamente significativa ($p = 0,019$), esto subraya la importancia de la escolarización temprana en entornos estimulantes para el desarrollo cognitivo y social, lo que podría sugerir una posible asociación entre la escolarización temprana y menores niveles de plumbemia en la población estudiada^(41,42).

Conclusiones

Nuestro estudio sobre la intoxicación por plomo y su relación con el neurodesarrollo infantil resalta varios hallazgos significativos y áreas para mejorar la investigación futura.

En primer lugar, a pesar de no encontrar correlaciones estadísticamente significativas entre los niveles de plomo en sangre y los percentiles de Bayley-III en

nuestra muestra, la alta prevalencia de niveles detectables de plomo en el 62% de los niños subraya la urgencia de implementar medidas preventivas efectivas para reducir la exposición al plomo en etapas muy tempranas del desarrollo infantil. Esto es especialmente crítico en poblaciones vulnerables, donde los factores de riesgo y la falta de recursos exacerban la exposición y sus posibles efectos adversos en el desarrollo.

Las diferencias significativas encontradas en la plumbemia relacionadas con factores ambientales y de comportamiento, como la presencia de prácticas como la onicofagia, el hábito de pica y el conocimiento previo de la contaminación por plomo en el vecindario, sugieren la importancia de considerar no solo la exposición directa al plomo, sino también los contextos ambientales y conductuales que pueden influir en los niveles de contaminación. Uno de los hallazgos más destacados de nuestro estudio es la asociación encontrada entre la escolarización temprana y niveles significativamente más bajos de plumbemia. Esto refuerza la evidencia de que el menor tiempo de exposición a entornos contaminados puede jugar un papel crucial como factor de protección contra la intoxicación por plomo en niños.

Para mejorar futuras investigaciones, es fundamental abordar las limitaciones identificadas en nuestro estudio, como el tamaño reducido y la naturaleza de muestra por conveniencia. Recomendamos ampliar el tamaño de la muestra y utilizar diseños longitudinales que permitan evaluar los efectos a largo plazo de la exposición al plomo desde edades tempranas. Además, integrar análisis más detallados de factores ambientales y conductuales, junto con medidas adicionales de desarrollo neurocognitivo, podría proporcionar una comprensión más completa de los efectos del plomo en la salud infantil.

En resumen, nuestros hallazgos subrayan la necesidad de políticas y programas de salud pública dirigidos a mitigar la exposición al plomo desde la infancia temprana, así como la importancia de intervenir en entornos educativos para proteger el desarrollo neurocognitivo de los niños. Estas medidas resultan fundamentales para abordar el problema de la intoxicación por plomo y sus impactos en la salud infantil a nivel global.

Agradecimientos

A la Mtr. Paula Gallicchio y Mag. Mariana Carriquiry, por colaborar en la aplicación de la escala Bayley-III. A la Dra. Laura del Puerto, al Dr. Fabián Courdin y a Dra. Marcela Ferreira, por colaborar en la realización de la Historia clínica ambiental y la utilización de LeadCare para la determinación de la plumbemia.

Referencias bibliográficas

- Grandjean P, Landrigan P. Neurobehavioural effects of developmental toxicity. *Lancet Neurol* 2014; 13(3):330-8. doi: 10.1016/S1474-4422(13)70278-3.
- World Health Organization. Children's environmental health units. Geneva: WHO, 2010. Disponible en: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/327187/9789241500425-eng.pdf>. [Consulta: 19 febrero 2025].
- World Health Organization. Inheriting a sustainable world? Atlas on children's health and the environment. Geneva: WHO, 2017. Disponible en: <https://iris.who.int/items/7a0a8020-ca7f-49df-b3e8-3db5b01fa9cc>. [Consulta: 19 febrero 2025].
- Centers for Disease Control and Prevention. About childhood lead poisoning prevention. Atlanta, GA: CDC, 2025. Disponible en: <https://www.cdc.gov/lead-prevention/about/index.html>. [Consulta: 10 octubre 2025].
- World Health Organization. International Programme on Chemical Safety. Geneva: WHO, 2019. Disponible en: https://www.who.int/ipcs/lead_campaign/es/. [Consulta: 19 febrero 2025].
- Ascione A. Intoxicación por plomo en pediatría. *Arch Pediatr Urug* 2001; 72(2):133-8. Disponible en: http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1688-12492001000200009. [Consulta: 19 febrero 2025].
- Burger M, Pose D. Plomo, salud y ambiente: experiencia en Uruguay. Montevideo: OMS, OPS, UDELAR, 2010.
- Mañay N, Cousillas A, Alvarez C, Heller T. Lead contamination in Uruguay: the "La Teja" neighborhood case. *Rev Environ Contam Toxicol* 2008; 195:93-115.
- Markowitz M. Lead poisoning. En: Kliegman R, Behrman R, Jenson H, Stanton B, eds. *Nelson textbook of pediatrics*. 18 ed. Philadelphia: Saunders-Elsevier, 2007:2913-8.
- Hauptman M, Bruccoleri R, Woolf A. An update on childhood lead poisoning. *Clin Pediatr Emerg Med* 2017; 18(3):181-92. doi: 10.1016/j.cpem.2017.07.010.
- Mason L, Harp J, Han D. Pb neurotoxicity: neuropsychological effects of lead toxicity. *Biomed Res Int* 2014; 2014:840547. doi: 10.1155/2014/840547.
- Surkan P, Zhang A, Trachtenberg F, Daniel D, McKinlay S, Bellinger D. Neuropsychological function in children with blood lead levels <10 microg/dL. *Neurotoxicology* 2007; 28(6):1170-7. doi: 10.1016/j.neuro.2007.07.007.
- Shen X, Wu S, Yan C. Impacts of low-level lead exposure on development of children: recent studies in China. *Clin Chim Acta* 2001; 313(1-2):217-20. doi: 10.1016/s0009-8981(01)00675-1.
- Lanphear B, Hornung R, Khoury J, Yoltson K, Baghurst P, Bellinger D, et al. Low-level environmental lead exposure and children's intellectual function: an international pooled analysis. *Environ Health Perspect* 2005; 113(7):894-9. doi: 10.1289/ehp.7688.
- Carpenter D, Nevin R. Environmental causes of violence. *Physiol Behav* 2010; 99(2):260-8. doi: 10.1016/j.physbeh.2009.09.001.
- Daneshparvar M, Mostafavi S, Zare Jeddi M, Yunesian M, Mesdaghinia A, Mahvi A, et al. The role of lead exposure on attention-deficit/hyperactivity disorder in children: a systematic review. *Iran J Psychiatry* 2016; 11(1):1-14.
- Ji Y, Hong X, Wang G, Chatterjee N, Riley A, Lee L, et al. A prospective birth cohort study on early childhood lead levels and attention deficit hyperactivity disorder: new insight on sex differences. *J Pediatr* 2018; 199:124-31.e8. doi: 10.1016/j.jpeds.2018.03.076.
- Blaurock E, Amin O, Dessoki H, Rabah T. Toxic metals and essential elements in hair and severity of symptoms among children with autism. *Maedica (Bucur)* 2012; 7(1):38-48.
- Liu M, Liu R, Wang R, Ba Y, Yu F, Deng Q, et al. Lead-induced neurodevelopmental lesion and epigenetic landscape: Implication in neurological disorders. *J Appl Toxicol* 2023; 43(9):1256-71. doi: 10.1002/jat.4419.
- Goel A, Aschner M. The effect of lead exposure on autism development. *Int J Mol Sci* 2021; 22(4):1637. doi: 10.3390/ijms22041637.
- Arora J, Krishan K, Kanchan T. Lead poisoning: an updated review of the literature. *J Indian Acad Forensic Med* 2022; 44(1):108-13. doi:10.5958/0974-0848.2022.00045.8.
- Tiwari, A. Neurodevelopmental and behavioral manifestations of lead toxicity in children. *Int J Health Sci* 2022; 6(S2):1562-80. doi: 10.53730/ijhs.v6nS2.5142.
- Alonso N, Hernández V, Pedroza M, García N. Prevalencia de alteraciones en el neurodesarrollo en niños de población rural de Oaxaca evaluados mediante la prueba Evaluación de Desarrollo Infantil. *Rev Neurol* 2023; 76(2):41-6. doi: 10.33588/rn.7602.2022240.
- Montenegro M, Ramírez A, Hernández J, Villalobos B, Garrido G, Amigo C, et al. Where I am from matters: factors influencing behavioral and emotional changes in autistic individuals during COVID-19 in Latin America. *Front Psychiatry* 2023; 14:1283326. doi: 10.3389/fpsy.2023.1283326.
- López I, Förster J. Trastornos del neurodesarrollo: dónde estamos hoy y hacia dónde nos dirigimos. *Rev Med Clin Condes* 2022; 33(4):367-78. doi: 10.1016/j.rmcl.2022.06.004.
- Francés L, Quintero J, Fernández A, Ruiz A, Caules J, Fillon G, et al. Current state of knowledge on the prevalence of neurodevelopmental disorders in childhood according to the DSM-5: a systematic review in accordance with the PRISMA criteria. *Child Adolesc Psychiatry Ment Health* 2022; 16(1):27. doi: 10.1186/s13034-022-00462-1.
- Mandal G, Mandal A, Chakraborty A. The toxic effect of lead on human health: a review. *Hum Biol Public Health* 2022; 3:1-11. doi: 10.52905/hbph2022.3.45.
- Olufemi A, Mji A, Mukhola M. Potential health risks of lead exposure from early life through later life: implications for public health education. *Int J Environ Res Public Health* 2022; 19(23):16006. doi: 10.3390/ijerph192316006.
- United Nations Children's Fund. Pure Earth. The toxic truth: children's exposure to lead pollution. 2 ed. New York: UNICEF, 2020. Disponible en: <https://www.unicef.org/media/73246/file/The-toxic-truth-children%E2%80%99s-exposure-to-lead-pollution-2020.pdf>. [Consulta: 19 febrero 2025].
- Casey R, Wiley C, Rutstein R, Pinto J. Longitudinal assessment for lead poisoning. *Clin Pediatr (Phila)* 1996; 35(2):58-61. doi: 10.1177/000992289603500201.
- Center for Global Development. A call to action: end childhood lead poisoning worldwide. Washington DC: CGD, 2023. Disponible en: <https://www.cgdev.org/sites/default/files/call-action-end-childhood-lead-poisoning-worldwide.pdf>. [Consulta: 19 febrero 2025].
- Poudel K, Ikeda A, Fukunaga H, Brune Drisse M, Onyon L, Gorman J, et al. How does formal and informal industry contribute to lead exposure? A narrative review from Vietnam, Uruguay, and Malaysia. *Rev Environ Health* 2023; 39(2):371-88. doi: 10.1515/reveh-2022-0224.
- Dabrera G, Sampson B, Ruggles R, Leonardi G. Investi-

- gating lead poisoning in children-could surveillance help? *QJM* 2015; 108(11):849-52. doi: 10.1093/qjmed/hcv018.
34. Landrigan P, Schechter C, Lipton J, Fahs M, Schwartz J. Environmental pollutants and disease in American children: estimates of morbidity, mortality, and costs for lead poisoning, asthma, cancer, and developmental disabilities. *Environ Health Perspect* 2002; 110(7):721-8. doi: 10.1289/ehp.02110721.
35. de Assis M, Froes C, de Figueiredo N, Camara V, Luiz R, Prata A, et al. Prenatal exposure to metals and neurodevelopment in infants at six months: rio birth cohort study of Environmental Exposure and Childhood Development (PIPA Project). *Int J Environ Res Public Health* 2022; 19(7):4295. doi: 10.3390/ijerph19074295.
36. López L, Torres L, Garrido F, Papaqui J, Palazuelos E, López M. Prevalence and determinants of lead intoxication in Mexican children of low socioeconomic status. *Environ Health Perspect* 1996; 104(11):1208-11. doi: 10.1289/ehp.104-1469505
37. Córdoba L, Vázquez R, Romero M, Cantoral A, Riojas H, Bautista S, et al. Lead exposure can affect early childhood development and could be aggravated by stunted growth: perspectives from Mexico. *Int J Environ Res Public Health* 2023; 20(6):5174. doi: 10.3390/ijerph20065174.
38. Chen A, Cai B, Dietrich K, Radcliffe J, Rogan W. Lead exposure, IQ, and behavior in urban 5- to 7-year-olds: does lead affect behavior only by lowering IQ? *Pediatrics* 2007; 119(3):e650-8. doi: 10.1542/peds.2006-1973.
39. Schnur J, John R. Childhood lead poisoning and the new Centers for Disease Control and Prevention guidelines for lead exposure. *J Am Assoc Nurse Pract* 2014; 26(5):238-47. doi: 10.1002/2327-6924.12112.
40. Ahmadi S, Botton J, Zoumenou R, Ayotte P, Fievet N, Mas-sougbdji A, et al. Lead exposure in infancy and subsequent growth in beninese children. *Toxics* 2022; 10(10):595. doi: 10.3390/toxics10100595.
41. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for lead. Atlanta, GA: ATSDR, 2020. Disponible en <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13.pdf>. [Consulta: 19 febrero 2025].
42. World Health Organization. Lead poisoning and health. Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>. [Consulta: 19 febrero 2025].

Correspondencia: Dr. Aroldo Morón.
Correo electrónico: aroldo.moron@gmail.com

Disponibilidad de datos

El conjunto de datos que apoya los resultados de este estudio NO se encuentra disponible en repositorios de acceso libre.

Contribución de los autores - CRediT

Aroldo Morón: Curación de datos; Análisis formal; Investigación; Redacción - borrador original.

Laura Aguilar: Análisis formal; Investigación; Redacción - borrador original.

Valeria Fraga: Conceptualización; Curación de datos; Análisis formal; Investigación; Metodología; Administración del proyecto; Recursos; Supervisión; Validación; Redacción - revisión y edición.

Ma. José Moll: Conceptualización; Investigación; Metodología; Recursos.

Santiago Mansilla: Curación de datos; Análisis formal; Investigación; Metodología; Recursos; Software; Visualización.

Darío Pose: Conceptualización; Investigación; Metodología; Recursos; Validación.

Victoria Ruiz: Investigación.

Amalia Laborde: Conceptualización; Investigación; Validación.

Gabriel González: Conceptualización; Investigación; Metodología; Recursos; Validación.

Aroldo Morón, ORCID 0009-0007-7582-1662.

Laura Aguilar, ORCID 0009-0004-2247-2559.

Valeria Fraga, ORCID 0000-0001-7374-7920.

Ma. José Moll, ORCID 0009-0009-4559-554X.

Santiago Mansilla, ORCID 0000-0002-3208-9981.

Darío Pose, ORCID 0000-0003-3306-0192.

Victoria Ruiz, ORCID 0000-0002-5071-4234.

Amalia Laborde, ORCID 0000-0002-9344-8204.

Gabriel González, ORCID 0000-0002-5985-1374.