

Funciones neurocognitivas en niños de 6 a 11 años con niveles de plomo en sangre en una Institución educativa en Malambo-Atlántico, Colombia

Neurocognitive functions in children aged 6 to 11 years with blood lead levels in an educational institution in Malambo-Atlántico, Colombia.

Natividad Cuentas Cepeda¹ <https://orcid.org/0009-0000-8982-576X>

Pedro Puentes Rozo² <https://orcid.org/0000-0001-8702-626X>

Johan E. Acosta Lopez³ <https://orcid.org/0000-0002-7330-6356>

Carlos Alfonso Ardila Duarte⁴ <http://orcid.org/0000-0002-0419-950X>

¹ Universidad Simón Bolívar. Barranquilla, Colombia.

² Universidad Simón Bolívar, Grupo de Neurociencias del Caribe, Unidad de Neurociencias Cognitivas. Barranquilla, Colombia.

³ Universidad Simón Bolívar, Grupo de Neurociencias del Caribe, Unidad de Neurociencias Cognitivas. Barranquilla, Colombia

⁴ Universidad Metropolitana, Departamento de Ciencias Básicas. Barranquilla, Colombia

*Autor para la correspondencia: carlosardila@unimetro.edu.co

RESUMEN

Introducción: el plomo, considerado un metal altamente tóxico, constituye un problema relevante de salud pública debido a su impacto en poblaciones vulnerables, particularmente en la infancia. La exposición, incluso a concentraciones bajas, se ha asociado con alteraciones neurocognitivas, conductuales y del desarrollo neurológico.

Objetivo: determinar las alteraciones neurocognitivas que pudieran estar asociados con niveles de plomo en sangre en niños entre 6 a 11 años.

Métodos: se realizó una investigación con enfoque cuantitativo, descriptivo y diseño transversal en niños entre 6 a 11 años de una institución educativa en Malambo-Atlántico. La muestra fue de 20 estudiantes pertenecientes a los cursos de transición y básica primaria de una Institución Educativa ubicada cerca de fábricas recicladoras de baterías, que cumplieron con los criterios de inclusión y exclusión, a los cuales se les aplicó pruebas en sangre para identificar los niveles de plomo, la Batería de Evaluación Neuropsicológica Infantil ENI, la Escala Wechsler de Inteligencia para niños WISC-III, el Sistema de evaluación de la conducta de niños y adolescentes (BASC) para padres y tutores, la Entrevista Neuropsiquiátrica Mini International Neuropsychiatric Interview para Niños y Adolescentes MINI Kid y una entrevista médica neurológica.

Resultados: el 70 % de los niños evaluados presentó niveles de plomo en sangre compatibles con diagnóstico toxicológico de intoxicación. Aquellos con niveles de plomo en sangre $\geq 10 \mu\text{g/dL}$ mostraron un deterioro significativo en funciones neurocognitivas, particularmente en la Flexibilidad Cognoscitiva, manifestando un menor número de respuestas correctas, así como un aumento en los errores y respuestas perseverativas. Además, se identificaron conductas como atipicidad, aislamiento e hiperactividad y un síntoma diferencial de náuseas y vómitos. Dentro de los síntomas más frecuentes reportados en los 2 grupos se incluyeron

problemas de comportamiento, irritabilidad, dolor abdominal y problemas de aprendizaje.

Conclusiones: el rendimiento de los niños con niveles de plomo ≥ 10 $\mu\text{g/dL}$ es inferior al de los niños con niveles < 10 $\mu\text{g/dL}$ en pruebas que impliquen funciones ejecutivas como flexibilidad cognoscitiva.

Palabras clave: intoxicación por plomo; alteraciones neurocognitivas; básica primaria.

ABSTRACT

Introduction: lead, considered a highly toxic metal, constitutes a relevant public health problem due to its impact on vulnerable populations, especially in childhood. Exposure, even at low concentrations, has been associated with neurocognitive, behavioural and neurodevelopmental disorders.

Objective: to determine the neurocognitive alterations that may be associated with blood lead levels in children aged 6-11 years schooled in an educational institution in Malambo-Atlántico.

Methods: the sample consisted of 20 students belonging to the transition and primary grades of an educational institution located near battery recycling factories who met the inclusion and exclusion criteria, to whom blood tests were applied to identify lead (Pb) levels, the ENI Child Neuropsychological Assessment Battery, the Wechsler Intelligence Scale for Children WISC-III, the Behaviour Assessment System for Children and Adolescents (BASC) for parents and teachers, the MINI Kid International Mini Neuropsychiatric Interview for Children and Adolescents and a neurological medical interview.

Results: 70 % of the children tested had blood lead levels compatible with a toxicological diagnosis of intoxication. Those with blood lead levels ≥ 10 $\mu\text{g/dL}$ showed significant impairment in neurocognitive functions, particularly in

Cognitive Flexibility, manifesting a lower number of correct answers, as well as an increase in errors and perseverative responses. In addition, behaviors such as atypicality, isolation and hyperactivity and a differential symptom of nausea and vomiting were identified. The most frequent symptoms reported in the 2 groups included behavioral problems, irritability, abdominal pain and learning problems.

Conclusions: the performance of children with lead levels equal to or greater than 10 µg/dL is lower than that of children with levels less than 10 µg/dL on tests involving executive functions such as cognitive flexibility.

Keywords: lead poisoning, neurocognitive disorders, primary school.

Recibido: 29/04/2025

Aceptado: 18/06/2025

Introducción

El plomo es un metal pesado, que se encuentra en forma orgánica e inorgánica en nuestro medio ambiente, se le considera un problema de salud pública porque afecta en mayor medida a las personas más vulnerables, entre ellos, trabajadores, mujeres en edad fértil y niños. La exposición a este metal se ha vinculado ampliamente con bajo peso al nacer y restricción de crecimiento intrauterino,⁽¹⁾ alteraciones metabólicas,⁽²⁾ bloqueo de la hematopoyesis,⁽³⁾ toxicidad renal, alteraciones motoras, neuropatía con mayor afectación en los miembros superiores y los extensores.⁽⁴⁾ Los niños, por encontrarse en pleno desarrollo neuropsíquico,⁽⁵⁾ presentan mayor vulnerabilidad, especialmente cuando la exposición ocurre desde la gestación hasta los dos primeros años de edad, por ser la etapa de mayor desarrollo del sistema nervioso central, afectando la arquitectura

del cerebro, atacando las enzimas que permiten la arborización dendrítica que, a su vez, afecta la sinapsis y el funcionamiento adecuado de los neurotransmisores. En múltiples investigaciones, su exposición crónica, incluso en dosis muy bajas, se relaciona con alteraciones neurocognitivas y bajo rendimiento académico.⁽⁶⁾ También, se ha demostrado una correlación significativa en niños con niveles de plomo en sangre, con hiperactividad, disminución del desarrollo verbal, menor coeficiente de inteligencia, inatención, cambios comportamentales, problemas de aprendizaje y pérdida de memoria.⁽⁷⁾

En la actualidad, se están tomando medidas para abordar de manera más oportuna la intoxicación con plomo en la población infantil.⁽⁸⁾ El Centro de Control y Prevención de Enfermedades CDC, recomienda que no se hable de “niveles preocupantes de plomo en sangre”, ya que muchos estudios han evidenciado alteraciones neurocognitivas y conductuales a niveles antes considerados inocuos, descartando lo que hasta el momento se consideraba como niveles tóxicos (≥ 10 $\mu\text{g/dL}$), estableciendo que los niveles desde donde se debe intervenir son los ≥ 5 $\mu\text{g/dL}$ en sangre.⁽⁹⁾ En Colombia, todavía se sigue manejando el parámetro de niveles tóxicos en niños de ≥ 10 $\mu\text{g/dL}$, lo que excluye a muchos expuestos de recibir atención oportuna.

Por lo anterior, el objetivo de la investigación fue determinar las alteraciones neurocognitivas que pudieran estar asociados con niveles de plomo en sangre en niños entre 6 a 11 años.

Métodos

Se realizó una investigación con enfoque cuantitativo, descriptivo y diseño transversal. La población estudiada fue de 94 estudiantes pertenecientes a una Institución Educativa del municipio de Malambo-Atlántico, Colombia, que han

estado expuestos ambientalmente al plomo desde hace aproximadamente una década, debido a fábricas recicladoras de baterías que operan en el sector a pocos metros de la escuela. La muestra fue no probabilística intencional y quedó constituida por 20 estudiantes, 14 del género masculino y 6 del femenino, pertenecientes a los cursos, transición, primero, segundo, tercero, cuarto y quinto de educación básica primaria del Centro Educativo y quienes cumplieron con los criterios de inclusión durante el 2015.

Criterios de inclusión: Estudiantes de una Institución Educativa del Municipio de Malambo que se encuentra ubicada cerca de las fábricas recicladoras de baterías, de entre 6 a 11 años de edad, con resultados comprobados de niveles de plomo en sangre de acuerdo a laboratorios certificados, y que aceptaran la participación en la investigación por medio del consentimiento informado o con la firma del consentimiento informado por parte de los padres y/o representantes legales.

Criterios de exclusión: Estudiantes menores a 6 años y mayores de 11 años, no matriculados en una Institución Educativa del Municipio de Malambo ubicada cerca de las fábricas recicladoras de baterías, con resultados comprobados de niveles de plomo en sangre de 0 µg/dl, con antecedentes de Trastornos Neurológicos Mayores (epilepsias, parálisis cerebral, traumas craneoencefálicos), previamente diagnosticados, estudiantes que hayan presentado prematuridad o síndromes genéticos, que no realizaron la totalidad de las pruebas requeridas para la investigación y que no presentaron el consentimiento informado.

Las funciones neurocognitivas y los signos neurológicos blandos se valoraron a través de la Batería de Evaluación Neuropsicológica Infantil (ENI),⁽¹⁰⁾ la evaluación del coeficiente intelectual mediante la Escala Wechsler de Inteligencia para niños WISC-III.⁽¹¹⁾ Las dimensiones conductuales se evaluaron mediante el uso de escalas comportamentales para padres y tutores BASC,⁽¹²⁾ también, se aplicó la

Entrevista Neuropsiquiátrica Internacional MINI Kid-Mini International Neuropsychiatric Interview para Niños y Adolescentes^(13,14) y una entrevista médica neurológica a los niños y sus padres que permitió descartar posibles trastornos neurológicos de base en la población estudiada. Adicionalmente, se aplicó un cuestionario para la recolección de datos sociodemográficos de la muestra. Mediante estos instrumentos se obtuvo información cuantitativa y cualitativa que hizo parte del análisis e interpretación de los resultados.

El autoinforme del BASC se excluyó, dado que este instrumento solo puede ser completado por niños mayores de 8 años, lo cual hubiera implicado la exclusión de una parte significativa de la muestra.

Evaluación Neuropsicológica Infantil ENI

El objetivo de la ENI es examinar el desarrollo neuropsicológico de la población infantil de habla hispana. Ha sido diseñada para niños con edades entre 5 y 16 años. Comprende la evaluación de 12 procesos neuropsicológicos: Habilidades construccionales, Memoria (codificación y evocación diferida), Habilidades perceptuales, Lenguaje, Habilidades metalingüísticas, Lectura, Escritura, Aritmética, Habilidades espaciales, Atención, Habilidades conceptuales y Funciones ejecutivas. Además, consta de dos anexos, uno para evaluar la lateralidad y el otro, la presencia de signos blandos.

Sistema de evaluación de la conducta de niños y adolescentes (BASC)

Esta es una prueba diseñada para establecer criterios confiables de diversas categorías diagnósticas relacionados con los criterios del DSM IV. Esta prueba, en su carácter multidimensional mide múltiples aspectos del comportamiento y la personalidad que se incluyen en dos escalas: la adaptativa, que reúne las conductas positivas y la clínica que reúne las consideradas negativas o anómalas. Tiene cinco componentes para valorar al sujeto desde diferentes perspectivas que pueden ser usadas individualmente o en conjunto: cuestionario de valoración para

tutores, cuestionario de valoración para padres, autoinformes de personalidad, historia estructurada de desarrollo y sistema de observación del estudiante. En este estudio se utilizaron solamente los cuestionarios de valoración para tutores (T) y cuestionarios de valoración para padres (P).

Escala de inteligencia Wechsler para niños (WISC III)

Esta escala ofrece un cociente intelectual (CI) total y un CI verbal y no verbal o de manipulación, además, proporciona puntajes compuestos de comprensión verbal, razonamiento perceptual, rapidez en el procesamiento y memoria operativa de trabajo. Contiene 13 subpruebas, 6 verbales (Aritmética, Analogías, Comprensión, Información, Retención de dígitos y Vocabulario) y 7 manuales (Búsqueda de símbolos, Claves, Completación de figuras, Construcción con cubos, Ensamblaje de objetos, Laberintos y Ordenamiento de historias).⁽¹⁵⁾

Valoración Médica-Neurológica

Es un proceso realizado por un neurólogo, con el fin de identificar posibles trastornos relacionados a la exposición ambiental al plomo, consta de una revisión general que incluye, peso, talla, temperatura y perímetro encefálico. Al igual que la valoración del tono muscular, fuerza, sensibilidad y reflejos.

Entrevista Neuropsiquiátrica Internacional para niños y adolescentes

MINI Kid

Es una entrevista diagnóstica estructurada de breve duración, que explora los principales trastornos psiquiátricos del DMS IV y el CIE-10.⁽¹⁶⁾ Está dividida en módulos que corresponden a una categoría diagnóstica identificados por letras. Al final de cada módulo, una o varias casillas diagnósticas permiten al clínico indicar si se cumplen los criterios diagnósticos.

Inicialmente, se realizó una entrevista con los directivos de una Institución educativa del municipio de Malambo-Atlántico, con el objeto de obtener información sobre las características generales de sus estudiantes relacionadas

con las variables de la investigación. Con base a esta información, se identificó la población a estudiar teniendo en cuenta los criterios de inclusión.

Para identificar los niveles de plomo (Pb) en sangre, se recolectaron los resultados de los exámenes en los niños expuestos, realizados máximo un mes antes de la fecha de evaluación, por medio de técnica de espectrofotometría de absorción atómica en horno de grafito en laboratorios especializados (Laboratorio Químico Clínico S.A.S, Laboratorio Clínico Continental y Laboratorio Clínico Médico COLCAN) y según los resultados de los laboratorios clínicos de la muestra, esta se dividió en dos grupos de acuerdo a la clasificación del Centers for Disease Control,⁽¹⁸⁾ la cual rige actualmente en Colombia. El grupo 1 estuvo conformado por aquellos estudiantes que obtuvieron valores de plomo en sangre de entre 10 µg/dL a 47,40 µg/dL (Riesgo de intoxicación (11 a 35 µg/dL) e intoxicación leve (36 a 49 µg/dl), que fue el valor máximo encontrado en la muestra, mientras que el grupo 2 estuvo conformado por aquellos estudiantes con valores de plomo en sangre de 0 a 9 µg/dl (Nivel aceptable).

Las hojas de respuestas de las pruebas aplicadas se tabularon y calificaron en una base de datos en formato Excel, para ser procesadas mediante el paquete estadístico Spss.

En reunión con padres de los niños seleccionados se les dio a conocer el propósito de la investigación y se realizó la firma del consentimiento informado de acuerdo con lo exigido por la ley 008430 de 1993 cuando se hace investigación en humanos.⁽¹⁷⁾

Resultados

De acuerdo a la clasificación que determina los niveles de plomo en sangre en niños utilizada actualmente en Colombia, establecida por el Centro de Control de

Enfermedades, el 55 % (12 participantes) presentó un nivel de plomo ≥ 10 $\mu\text{g/dL}$ pero < 35 $\mu\text{g/dL}$ con diagnóstico toxicológico en riesgo de intoxicación y un 15 % (2 participantes) un nivel de plomo > 35 $\mu\text{g/dL}$, con diagnóstico toxicológico de intoxicación leve, a este grupo se le denominó grupo 1. El resto de los participantes, es decir, un 30 % la muestra (6 participantes), presentaron un nivel de plomo < 10 $\mu\text{g/dL}$, con diagnóstico toxicológico en nivel aceptable, los que hacen parte del grupo 2. De acuerdo a la información anterior, se consideraron las categorías de análisis para la variable dependiente en los grupos quedando conformados como muestra la tabla 1.

Tabla 1 - Número de participantes según categorías de la variable nivel de Plomo en sangre

Variable	Categorías	Grupo	N	%	Diagnóstico toxicológico
Nivel de Plomo en sangre	≥ 10 $\mu\text{g/dL}$	1	14	70	Riesgo de Intoxicación e Intoxicación leve
	< 10 $\mu\text{g/dL}$	2	6	30	Nivel aceptable

La figura 1 muestra la distribución de los dos grupos de niños de 6 a 11 años expuestos al plomo de acuerdo a los valores encontrados de este tóxico en sangre.

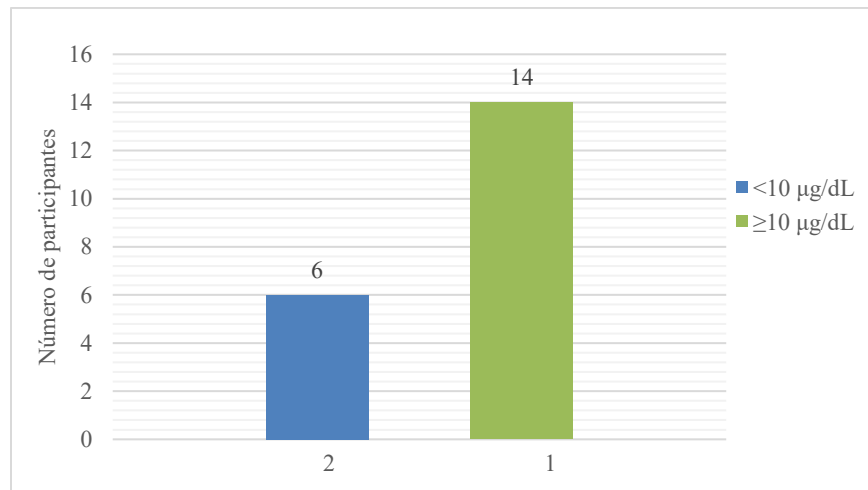


Fig. 1- Clasificación de los grupos según la variable nivel de plomo en sangre.

Según el análisis descriptivo de las variables demográficas (tabla 2), se observa que la media de plomo en sangre de la totalidad de la muestra (N = 20) fue de 19,37 µg/dL, los niños del Grupo 1 presentaron una media de plomo en sangre de 26,16 µg/dL con una desviación estándar (DE) de 2,36 µg/dL, con un nivel de plomo máximo de 47,40 µg/dL. Por su parte, los niños del Grupo 2 presentaron una media de 3,53 µg/dL con una DE de 2,78 µg/dL y un nivel de plomo máximo de 7,75 µg/dL.

Tabla 2 - Variables demográficas

Variables demográficas	Grupo 1 N = 14		Grupo 2 N = 6	
	x	DE	x	DE
Nivel de plomo en sangre	26,16	(2,36)	3,53	(2,78)
Edad	7,79	(1,93)	9,00	(1,67)
Escolaridad	2,36	(1,55)	3,50	(1,38)
Estrato socioeconómico	1		1	
Género				
Masculino	10		4	

Femenino	4		2	
----------	---	--	---	--

La edad promedio de la totalidad de la muestra (N = 20) fue de 8,15 años. La del Grupo 1 de 7,79 años con una DE = 1,93 años, de este grupo 10 participantes (71,42 %) son del género masculino y 4 (28,58 %) del femenino. La del Grupo 2 fue de 9,00 años con una DE = 1,67 años, de este grupo 4 (66,66 %) son del género masculino y 2 (33,33 %) del femenino.

La totalidad de la muestra se clasificó en el estrato socioeconómico 1 y su escolaridad va del curso transición hasta quinto grado de primaria. El total de la muestra tiene una escolaridad de 2,7, la del Grupo 1 fue de 2,36 grado con una DE = 1,55 grado de escolaridad y la del grupo 2 de 3,50 grado con una DE = 1,38 grados de educación básica primaria.

En los resultados de los factores de riesgo de intoxicación por plomo en la prueba de comparación de medias para las variables, se muestra que no existen diferencias significativas entre las medias de los grupos 1 y 2, lo que indica que la totalidad de la muestra presenta las mismas posibilidades de afectación relacionadas con este metal tóxico.

El tiempo de exposición fue tomado en meses, incluyendo los nueve meses de gestación. El promedio en la muestra fue de 91,35 meses. En el Grupo 1 se halló un promedio de tiempo de exposición de 89,14 (21,68) y en el Grupo 2 fue de 96,50 (27,19), observándose tiempo de exposición prolongados y similares en ambos grupos, lo que determina el grado de cronicidad de la exposición.

La edad de inicio de exposición al plomo también fue tomada en meses incluyendo los nueve meses de la gestación. Los hallazgos muestran que el 55 % (12 niños) estuvo expuesto desde el inicio de la gestación. El promedio de edad de inicio de exposición de la totalidad de la muestra fue de 13,15 meses. El promedio de edad de inicio del Grupo 1 fue de 12,57 (17,19) y los del Grupo 2 de 14,50 (22,93) meses.

La temprana edad de inicio de exposición aumenta las posibilidades de presentar daños en el sistema nervioso en formación.

La distancia de las viviendas a la fuente de exposición se tomó en metros. El promedio total de la muestra fue de 232,6 metros. En el Grupo 1, el promedio fue de 258,57 (149,35) metros y en el Grupo 2 de 172,00 (120,52) metros (tabla 3).

Tabla 3- Comparación de los resultados de factores de riesgo de intoxicación por plomo en los dos grupos

Variables Factores de riesgo de intoxicación por plomo	Grupo 1 N = 14		Grupo 2 N = 6		Prueba Smirnov- Kolmogorov	p*	p**
	x	DE	x	DE			
Tiempo exposición al plomo	89,14	21,68	96,50	27,19	0,586	0,883	0,526
Edad de inicio	12,57	17,19	14,50	22,93	0,342	1,000	0,837
Distancia de la vivienda a la fuente de exposición	258,57	149,35	172,00	120,52	0,781	0,576	0,227

* Valor *p* para la prueba de Smirnov-Kolmogorov. ** Valor *p* para la prueba *t* de diferencias de medias.

Los resultados del cuestionario de síntomas de exposición al plomo muestran que la variable náuseas/vómitos presentó diferencia significativa entre los grupos, siendo los del Grupo 1 los que obtuvieron mayor puntuación, 0,64 con una DE = 0,50, en comparación con los del Grupo 2, que obtuvieron 0,17 puntos con una DE = 0,41 y valor *p* = 0,051.

Con respecto a la frecuencia de los síntomas de exposición al plomo, en todos los niños se identificaron síntomas de exposición, excepto convulsiones. En la totalidad de la muestra, el síntoma que se presentó con mayor frecuencia fue

problemas de comportamiento (90 %), seguido por irritabilidad y dolor abdominal (65 %), problemas de aprendizaje (60 %), apatía (55 %), náuseas/vómitos (50 %), torpeza y pérdida de apetito (45 %). En menor proporción, se identificaron pérdida de equilibrio (15 %), estreñimiento (10 %) y color azul en las encías (5 %).

A nivel general, no se hallaron diferencias significativas entre los Grupos 1 y 2 en los resultados del WISC III (tabla 4). Se observaron puntajes más bajos en el CI de Ejecución con relación al CI Verbal en ambos grupos, con una diferencia de 6,72 para el Grupo 1 y 5,17 para el Grupo 2. El CI Total del Grupo 1 fue de 70,64 (9,20) con clasificación límite y del Grupo 2 de 69,83 (10,76) con clasificación intelectualmente deficiente. En el CI Total un 40 % (N = 8) clasificaron como intelectualmente deficientes, un 45 % (N = 9) límite, un 10 % (N = 2) media baja y un 5 % (N = 1) promedio. Entre los factores evaluados, el que obtuvo puntuaciones más bajas fue el de Ausencia de Distractibilidad, con 65,93 (7,22) y 61,17 (7,88) puntos, respectivamente.

Tabla 4- Comparación de los resultados del Test de Inteligencia para niños WISC III

Variables WISC III	Grupo 1 N = 14		Grupo 2 N = 6		Prueba Smirnov- Kolmogorov	p*	p**	p***
	x	DE	x	(DE)				
CI verbal	76,29	12,26	74,00	(11,49)	0,154	0,200	0,702	-
CI de ejecución	69,57	8,80	68,83	(12,37)	0,158	0,200	0,881	-
CI total	70,64	9,20	69,83	(10,76)	0,225	0,009	-	0,613
Comprensión verbal	73,71	10,07	74,00	(11,05)	0,137	0,200	0,956	-
Organización perceptual	70,21	10,41	73,83	(14,58)	0,110	0,200	0,535	-

Ausencia de distractibilidad	65,93	7,22	61,17	(7,88)	0,179	0,095	0,204	-
Velocidad de procesamiento	78,29	10,95	67,83	(14,76)	0,130	0,200	0,094	-

*Valor p para la prueba de Smirnov-Kolmogorov. ** Valor p para la prueba t de diferencias de medias.

** Valor p para la prueba de diferencias de medianas.

En cuanto a la comparación de los grupos según el nivel de plomo en sangre de las variables de la Evaluación Neuropsicológica Infantil-ENI, se encontraron diferencias significativas entre los dos grupos, en pruebas que implican Flexibilidad Cognoscitiva tales como total de respuestas correctas, total de errores y número de respuestas perseverativas. Presentaron mayores deficiencias en el Grupo 1, alcanzando un rendimiento de 23,64 (8,87) de respuestas correctas en comparación con el Grupo 2, que obtuvieron un promedio de 32,17 (6,11) con p^{**} de 0,047.

Igualmente, se observan las diferencias en el número de errores, cuya media fue de 30,07 (8,77), en el Grupo 1 y de 21,83 (6,11) en el Grupo 2 con p^{**} (0,052). El Grupo 2 fue quien alcanzó un mejor rendimiento al presentar menos errores.

En relación con las respuestas perseverativas, estas presentaron mayor número en el Grupo 1 con una media de 32,29 (9,79), en comparación con el grupo 2 que obtuvieron 21,50 (6,47) p^{**} 0,024, lo que indica fallas en flexibilidad, puesto que los niños del Grupo 1 mostraron mayor dificultad al momento de cambiar el curso del pensamiento o de la acción de acuerdo a las demandas de las actividades.

Según los resultados de la evaluación conductual realizada por medio del BASC, solo se evidenciaron diferencias significativas en las escalas clínicas del BASC Tutores en: Atipicidad, Aislamiento e Hiperactividad entre los grupos. En la variable atipicidad, el Grupo 1 obtuvo una media de 55,07(6,96) y el grupo dos 46,83(8,68) con p^{**} 0,037 y aunque ambos se encuentren en el rango clínico medio, se puede

observar que los del Grupo 1 tuvieron puntajes más elevados. En la variable aislamiento, el Grupo 1 puntuó 61 (13,08), rango clínico en riesgo y el Grupo 2 puntuó 51 (2,19) con p^{***} 0,014, rango clínico medio, observándose mayor afectación en el grupo 1. En la variable hiperactividad, también, se observan puntuaciones más elevadas en los niños del grupo 1 con 54,5 (6,51) rango clínico medio, en comparación con el grupo 2 46(5,13) rango clínico medio, con p^{**} (0,016). Respecto a la entrevista psiquiátrica realizada mediante la MINI Kid, no se encontraron diferencias significativas entre los grupos 1 y 2; sin embargo, es importante resaltar que el 75 % cumplió con los criterios para Trastorno por Déficit de Atención, con predominio inatento y un 50 % los criterios para trastorno negativista desafiante, presentándose con menor frecuencia los trastornos disocial de la conducta (10 %), depresivo mayor, psicótico, explosivo intermitente, agorafobia, riesgo de suicidio, rumiación, TDAH predominio combinado, sin casos de TDAH de predominio hiperactivo/impulsivo. Finalmente, en el cuestionario síntomas neurológicos blandos los grupos 1 y 2 tampoco presentaron diferencias significativas. La entrevista neurológica que evaluó las variables tono muscular, fuerza, sensibilidad y reflejos no mostraron resultados observables en ninguno de los grupos de estudio en la presente investigación.

Discusión

En los resultados de esta investigación se observó que el 80 % presentó un nivel de plomo en sangre mayor a 5µg/dL, por encima el último umbral establecido por la CDC, y el 70 % un nivel ≥ 10 µg/dL según los criterios utilizados actualmente en Colombia, lo que es preocupante, ya que estudios han demostrado que a niveles menores a 5 µg/dL ya se identifican alteraciones en las funciones neurocognitivas,

evidenciándose por cada aumento de 1 $\mu\text{g/dL}$ una disminución en el coeficiente intelectual,^(19,20) menor desempeño en pruebas de lectura, razonamiento matemático, operaciones numéricas, memoria a corto plazo,⁽²¹⁾ alteraciones en tiempos de reacción, integración visual motora, habilidades motrices finas, atención, memoria de trabajo,⁽²²⁾ función ejecutiva,^(23,24) entre otras.

La media aritmética de plomo en sangre encontrada en este estudio fue de 19,37 $\mu\text{g/dL}$, que corresponde a la categoría en riesgo de intoxicación, con una concentración mínima de 0,15 $\mu\text{g/dL}$ considerado nivel aceptable y máxima de 47,40 $\mu\text{g/dL}$ intoxicación leve. Estos resultados son menores que los encontrados en países como México, donde el promedio de plomo en sangre hallado en 250 estudiantes fue de 22 $\mu\text{g/dL}$ ⁽²⁵⁾ y mayores que en República Dominicana, en una muestra de 63 niños de 2 a 10 años de edad, donde el promedio encontrado fue de 16,7 $\mu\text{g/dL}$.⁽²⁶⁾ Resultados similares se identificaron en otro estudio en la Habana, donde se encontró una media aritmética de plomo en sangre de 9,6 $\mu\text{g/dL}$ en 85 niños de 3 a 8 años⁽²⁷⁾ y en Argentina, donde la media encontrada en 319 niños de 1 a 6 años fue de 2,9 $\mu\text{g/dL}$.⁽²⁸⁾ Asimismo, los valores encontrados en este estudio son mayores que los encontrados en poblaciones colombianas como Cartagena, donde un 7,4% de los niños presentaron niveles por encima de 10 $\mu\text{g/dL}$, con un promedio de 5,49 $\pm$ 0,23 $\mu\text{g/dL}$ en un rango de 1,0 a 21,0 $\mu\text{g/dL}$,^(29,30) y en Cali, donde se encontró en una muestra de 546 estudiantes entre 6 y 14 años de edad, de escuelas en el sector industrial de ACOPI-Yumbo, concentraciones máximas de plomo en sangre de 9,9 $\mu\text{g/dL}$ para la población expuesta y de 6,6 $\mu\text{g/dL}$ para la de control.⁽³¹⁾

Con relación a la fuente de exposición al plomo de los niños de este estudio, se pudieron identificar varias fábricas recicladoras de baterías en la zona, que según la Secretaría de Salud Departamental, podrían considerarse como las generadoras de la propagación de este metal tóxico al ambiente, lo que coincide con estudios

realizados en los municipios de Soacha, Cundinamarca, Bosa, Engativá y Usaquén (Bogotá),⁽³²⁾ en donde se evaluó a 32 niños entre 5 meses a 12 años de edad, y se encontró que la concentración de plomo en sangre en aquellos cuyos padres trabajaban en el reciclaje de baterías dentro de la casa fue de 66 $\mu\text{g/dL}$, mayor a los que no lo hacían que fue de 47,6 $\mu\text{g/dL}$. Lo anterior también concuerda con una extensa revisión literaria realizada en el año 2011 en 37 en países en vía de desarrollo, la cual recolectó datos de estudios llevados a cabo entre 1993 y 2010 en plantas de fabricación y reciclaje de baterías de plomo, encontrando resultados alarmantes, donde la concentración de plomo en el aire en las fábricas de baterías fue 7 veces mayor que el límite de exposición permitido, y el nivel de plomo de los niños que vivían en la zona fue de 19 $\mu\text{g/dL}$, nivel muy similar al encontrado en esta investigación.⁽³³⁾

Por lo general, estas fábricas se encuentran ubicadas en zonas rurales, cerca de poblaciones más vulnerables por su estrato socioeconómico bajo, como sucedió en este estudio, en el que todos los niños pertenecían al estrato socioeconómico 1, que en Colombia corresponde al nivel bajo, caracterizados por recibir menores ingresos económicos, lo que afecta su calidad de vida y los convierte en blanco fácil de la exposición por la capacidad de su organismo de absorber mucho más plomo a nivel gastrointestinal, especialmente si existen déficits de hierro y calcio por sus deficientes condiciones nutricionales.⁽³⁴⁾ Aunque no se puede desconocer que las condiciones socioeconómicas juegan un papel importante en el desarrollo adecuado de los procesos cognitivos,⁽³⁵⁾ un estudio realizado al sur de Chile sobre los efectos clínicos a largo plazo en niños intoxicados con plomo confirmó la relación entre los bajos puntajes en las pruebas psicométricas con el nivel de intoxicación, sin encontrar asociación significativa con la condición socioeconómica.⁽³⁶⁾ Este dato es muy importante, ya que pone en manifiesto que

la exposición por plomo en sí es un factor de riesgo generador de afectación de las funciones neurocognitivas en los niños.

En este estudio se consideró importante analizar los factores de riesgo: Distancia de la vivienda del niño a la fuente de exposición, edad de inicio y tiempo de exposición, por estar asociados con alteraciones irreversibles generadas por el daño al sistema nervioso causado por la exposición crónica, incluso a niveles muy bajos de plomo.⁽³⁷⁾

La distancia de la vivienda de los niños a la fuente de exposición, es decir, a las fábricas recicladoras de baterías, se tomó en metros, con un promedio de 232,6 metros, sin encontrarse diferencias significativas entre los dos grupos, por lo que se puede inferir que todos compartían las mismas características de exposición ambiental. La distancia hallada en esta investigación fue mínima comparada con estudios como el realizado en El Paso, Texas, donde dividieron la población de niños en cinco zonas, la más cercana ubicada a <1 milla (1,6 kilómetros) y la más lejana a 8 millas (9,6 kilómetros), encontrándose en la primera niveles de plomo en sangre de 38,55 µg/dL y en la última de 27,71 µg/dL, demostrando una correlación negativa estadísticamente significativa que sugiere que a menor distancia de la fuente de exposición, se incrementa la concentración de plomo en sangre.⁽³⁸⁾ En un estudio más actual, realizado en Cali, Colombia, en 546 escolares de 6 a 14 años, se dividieron los niños en dos zonas, una denominada expuesta, ubicada a 2 kilómetros de la fuente de exposición y donde se encontró una media aritmética de 4,7(1,6) µg/dL con una concentración máxima de 9,9 µg/dL, y una zona denominada de control a 12 kilómetros de distancia de la fuente de exposición, aquí también se hallaron niveles de plomo en los niños, aunque más bajos, con una media aritmética de 2,9 (1,2) µg/dL y una concentración máxima de 6,6 µg/dL.

Teniendo como punto de referencia las investigaciones anteriores, se observa que los niños que participaron en este estudio se encuentran en una zona de alto riesgo por la cercanía a una fuente de exposición.

El tiempo de exposición promedio de la muestra fue de 91,35 meses que equivalen a 7,6 años y la edad de exposición de 13,15 meses, que equivalen a un año y 1 mes; además, en ambos grupos se incluyeron los 9 meses de gestación, lo que indica que todos los niños estudiados presentaron exposición crónica al plomo. Un dato importante es que el 55 % de los niños estuvieron expuestos desde la gestación, lo que incrementa la posibilidad de daños en el sistema nervioso, ya que, según evidencian diversos estudios, este pasa fácilmente por la vía transplacentaria a los fetos afectando la formación de redes neuronales y la mielinización, compitiendo con el calcio y activando las proteinkinasa, generando un bloqueo del receptor de N-metil-aspartato, provocando en el sistema nervioso del feto un estado de excitación glutaminérgica, especialmente a nivel del hipocampo,^(39,40,41) lo que también se comprueba en estudios experimentales con ratas, donde se han señalado al hipocampo, la amígdala y el cerebelo, estructuras reconocidas por su participación en las funciones cognitivas, memoria, aprendizaje, conducta, integración y gestión de las emociones, respuestas automáticas, control y regularización de los movimientos, procesamiento del lenguaje, funciones visuoespaciales, entre otras,^(42,43) como áreas principales de acumulación del plomo después de la exposición a través de la leche materna y en forma directa en los primeros meses de vida.^(44,45)

En estas zonas cerebrales se hallaron bordes irregulares y citoplasma condensado en las células no piramidales, en cesto y granulosas, dendritas lisas en forma de cuentas de rosario, más condensadas y oscuras que los elementos circundantes y aumento de los gliofilamentos en los astrocitos. Por su parte, Barkuy y Bairy en un estudio similar asociaron la exposición al plomo durante el período posnatal con

alteraciones en el proceso de apoptosis del desarrollo y aumento de la degeneración de las células neuronales en el hipocampo.⁽⁴⁶⁾ Estos daños al sistema nervioso en formación provocan alteraciones que perduran incluso hasta la adultez,⁽⁴⁷⁾ manifestándose en síntomas que, en muchos casos, pueden ser sutiles e inespecíficos,⁽⁴⁸⁾ por lo que se confunden con otras patologías o trastornos.⁽⁴⁹⁾

Al revisar los resultados del cuestionario diligenciado por los padres para identificar los síntomas más frecuentes en los niños de nuestro estudio, se encontró que, excepto convulsiones, todos presentaron más de un síntoma de exposición al plomo, siendo la variable náuseas/vómitos la única que presentó diferencia significativa entre los grupos, con mayor puntuación en los del Grupo 1. Los síntomas que con más frecuencia presentaron fueron problemas de comportamiento (90 %), irritabilidad y dolor abdominal (65 %), problemas de aprendizaje (60 %), apatía (55 %), náuseas/vómitos (50 %), torpeza y pérdida de apetito (45 %), pérdida de equilibrio (15 %), estreñimiento (10 %) y color azul en las encías (Ribete de Burton) (5 %). Algunos de estos síntomas también fueron identificados en 32 niños de 5 a 12 años pertenecientes a municipios de Bogotá, expuestos ambientalmente al plomo por la cercanía a fábricas recicladoras de baterías de autos, los más frecuentes fueron hiporexia (59 %), dolor abdominal desnutrición (44 %), cefalea (41%), trastorno del sueño o vómito frecuente (25 %), ribete de Burton (25 %), palidez mucocutánea (22 %), mal rendimiento escolar (19 %), observándose en nuestro estudio mayor cantidad y frecuencia de aparición de los síntomas.

Uno de los indicadores utilizados para determinar la afectación que produce la exposición al plomo en niños es el nivel de cociente intelectual, que se obtiene mediante la aplicación de test de inteligencia, definida según Wechsler, como la capacidad que tiene una persona de actuar con premeditación, actuar con la razón

y relacionarse en forma eficaz con el medio.⁽⁵⁰⁾ Diversos estudios han hallado asociación entre el aumento de los niveles de plomo en sangre y la disminución del CI. Algunos muestran que por cada 10 µg/dL de aumento de plomo en sangre, el CI puede bajar 0,94, 2, 4 a 7 puntos.^(51,52,53,54)

Contrario a los resultados anteriores, Lanphear y otros⁽⁵⁵⁾ sugieren que los mayores efectos del plomo en el CI se producen a menores concentraciones de plomo en sangre, para explicarlo utilizó un modelo log-lineal estableciendo una relación dosis-respuesta entre niveles de plomo en sangre y puntos del CI, para esto evaluó a 1333 niños de siete estudios de cohortes longitudinales internacionales seguidos desde el nacimiento o la infancia hasta los 5-10 años de edad. La media geométrica de plomo en sangre de los niños alcanzó un máximo de 17,8 µg / dL y disminuyó a 9,4 µg/dL entre los 5 y 7 años de edad. Utilizando el modelo log-lineal, encontró una relación inversa con un decremento de las puntuaciones CI, para esto clasificaron los resultados en tres rangos: el primero los valores eran de 2,4 a 10,0 µg/dL con una disminución de 2,4 a 5,4, en el segundo de 10,1 a 20,0 µg/dL con una disminución de 1,2 a 2,6 y el tercero con valores de concentración (>) de 20 µg/dL con una disminución de 0,7 a 1,5 puntos del CI. Utilizando la misma metodología de Lanphear, en Perú se realizó un estudio con niños de 2 a 7 años de edad expuestos debido a actividades mineras en la zona. En el que se obtuvieron resultados similares al anterior, los que tenían niveles de plomo en sangre de 2,4-10,0 µg/dL mostraron una disminución de 3,9 puntos de CI, los de 10,1-20,0 µg/dL de 1,9 puntos y los de (>) de 20 µg/dL una disminución de 1,1 puntos del CI.⁽⁵⁶⁾

Lo anterior guarda relación con los resultados hallados en este estudio, donde se observó una disminución de 2,29 puntos en el CI Verbal, 0,74 puntos en el CI de Ejecución, 1,01 puntos en el CI Total, en los niños del Grupo 2 con relación a los del Grupo 1, lo mismo se observó en los factores de Ausencia de Distractibilidad con 4,76 puntos y el de Velocidad de Procesamiento con 10,47 puntos menos el Grupo

2 que el Grupo 1, observándose puntuaciones más bajas en los niños con niveles de plomo menores a 10 µg/dL. Solo en los factores de Comprensión Verbal y Organización Perceptual los puntajes de los de mayor nivel de plomo en sangre fueron menores que los de menor nivel, con 1 y 3 puntos, respectivamente. Esto coincide con los resultados obtenidos por Chiodo y Jacobson, donde se evaluaron 246 niños afroamericanos encontrándose asociación significativa entre estos dos factores y los niveles de plomo en sangre. Como en este estudio no se hallaron diferencias significativas en los dos grupos estudiados, con relación a los resultados del WISC III, no se puede inferir que el plomo fue el causante de las alteraciones encontradas; sin embargo, sí podrían considerarse preocupantes los niveles tan bajos del CI Total de los niños, pues un 40 % clasificaron como intelectualmente deficientes, un 45 % limítrofe, un 10 % media baja y un 5 % promedio.

En los resultados de la evaluación Neuropsicológica Infantil ENI se encontraron diferencias significativas en pruebas que evalúan las funciones ejecutivas y que implican flexibilidad cognoscitiva, como total de respuestas correctas, total de errores y número de respuestas perseverativas, que se relacionan con la capacidad de reasignar recursos mentales basados en un cambio en las demandas situacionales,⁽⁵⁷⁾ presentando mayores dificultades los niños con niveles de plomo en sangre iguales o mayores que 10 µg/dL. Las alteraciones en las funciones ejecutivas en los niños con mayor concentración de plomo en sangre, también fueron identificadas por Surkan y otros, al evaluar 534 niños de 6 a 10 años de edad mediante el Test de clasificación de tarjetas Wisconsin, que guarda mucha similitud con el test de flexibilidad cognitiva de la ENI, pudieron observar en los niños con niveles 5-10 µg/dL una puntuación menor que en los niños con niveles de 1-2 µg/dL, presentando más errores de perseveración y obteniendo menos categorías. Asimismo, en estudios realizados por Stiles y Bellinger, Chiodo,

Jacobson y Jacobson se encontró un aumento de la respuesta perseverante asociado con el incremento de los niveles de plomo en sangre, lo que concuerda con lo hallado en esta investigación.⁽⁵⁸⁾

En este estudio, además, se empleó el Sistema de evaluación de la conducta de niños y adolescentes BASC con el objeto de identificar aspectos del comportamiento, incluyendo dimensiones tanto clínicas como adaptativas. En el cuestionario diligenciado por los padres no se hallaron diferencias significativas entre los dos grupos, mientras que en el de tutores se encontraron diferencias significativas en las escalas clínicas hiperactividad, atipicidad y aislamiento con mayor afectación en los niños del Grupo 1 con niveles $\geq 10 \mu\text{g/dL}$, lo que coincide con diversos estudios que han asociado la intoxicación por plomo con problemas de conducta, incluso a concentraciones bajas.^(59,60,61) Lo anterior, también, puede ser explicado por estudios experimentales como el realizado por Fracchia y su equipo, donde identificaron mayores alteraciones en la dopamina cerebral y la serotonina plasmática, aumento de conductas agresivas, alteraciones de la conducta exploratoria no conflictiva, disminución significativa de la sensibilidad a los procedimientos ansiogénicos en ratones tratados con bajas concentraciones de plomo con relación al grupo control.⁽⁶²⁾

En las pruebas ENI, BASC y MINI Kid se pudo observar un patrón común y es la identificación de alteraciones relacionadas con las funciones ejecutivas, más específicamente en flexibilidad cognitiva, hiperactividad y TDAH con predominio inatento, con diferencias significativas y mayor afectación en los niños con niveles $\geq 10 \mu\text{g/dL}$ (Grupo 1), lo que podría sugerir que los niveles más elevados de plomo en niños podrían afectar la tercera unidad funcional, que incluye los lóbulos frontales, responsables, entre otros, de la programación, regulación y verificación del comportamiento.^(63,64) Asimismo, podría explicarse por las múltiples afectaciones que este metal produce en las estructuras cerebrales,⁽⁶⁵⁾ entre ellos,

la reducción de la dopamina en la corteza prefrontal y el cuerpo estriado que está ampliamente relacionada con trastornos de conducta y TDAH, especialmente cuando la exposición se inicia durante la etapa prenatal.⁽⁶⁶⁾

Niños con niveles de plomo en sangre han demostrado tener mayores dificultades en memoria de trabajo, control inhibitorio,⁽⁶⁷⁾ flexibilidad cognitiva, atención,⁽⁶⁸⁾ impulsividad,⁽⁶⁹⁾ planeación.⁽⁷⁰⁾ Con relación al TDAH, diversos estudios han planteado la posible asociación de niveles de plomo en sangre en niños, incluso $<10 \mu\text{g/dL}$, con un mayor riesgo de presentar este trastorno.⁽⁷¹⁾ Por otro lado, Braun y otros⁽⁷²⁾ encontraron una relación significativa en 344 niños de 4 y 15 años, identificando un riesgo 4,1 mayor de TDAH en niños con niveles $<2,0 \mu\text{g} / \text{dL}$ de plomo en sangre, en comparación con los de $0,7 \mu\text{g/dL}$. Estos resultados coinciden con un estudio realizado a 256 niños coreanos de 8 a 10 años de edad, mediante el uso de la escala de clasificación del trastorno por déficit de atención con hiperactividad (T-ARS)-IV por sus siglas en inglés, diligenciada por los docentes, donde se halló una asociación de las concentraciones de plomo y los puntajes en inatención e hiperactividad.⁽⁷³⁾ Chiodo y otros hallaron relación en los resultados de la escala de clasificación del trastorno por déficit de atención con hiperactividad, encontrando relación significativa con TDAH predominio inatento y no con el impulsivo, lo que guarda relación con los resultados de esta investigación.

En la entrevista neurológica, que pretendió evaluar las variables tono muscular, fuerza, sensibilidad y reflejos, no se presentaron resultados observables en ninguno de los grupos de estudio de la investigación, al igual que en los resultados del cuestionario de signos neurológicos blandos de la ENI, donde no se hallaron diferencias significativas entre los dos grupos de estudio, esto podría estar relacionado con que muchos niños intoxicados con plomo, muchas veces, resultan asintomáticos ante la exploración médica, especialmente si esta es crónica y a

bajas concentraciones, por lo que hace necesario la exploración neuropsicológica. Con relación a esto, Selbst,⁽⁷⁴⁾ en su estudio sobre envenenamiento por plomo en los niños, reporta que menos de un 5 % se diagnostican basándose en la revisión médica, siendo las encefalopatías las que se presentan a niveles muy elevados. Dentro de las limitaciones del estudio, se encuentra el tamaño de la muestra, debido a la dificultad de acceso a la población infantil expuesta y a la escasa colaboración de los padres de familia relacionado con problemas de inseguridad en la zona, especialmente a la falta de concientización de la población en relación al peligro de esta exposición. En conclusión, el rendimiento de los niños con niveles de plomo ≥ 10 $\mu\text{g/dL}$ es inferior al de los niños con niveles < 10 $\mu\text{g/dL}$ en pruebas que impliquen funciones ejecutivas como flexibilidad cognoscitiva.

Referencias bibliográficas

1. Suarez MM. Nutrients intake as determinants of blood lead and cadmium levels in Colombian pregnant women. Am J Hum Biol. 2010 [acceso 17/04/2022];22(3):344-50. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ajhb.22375>
2. Garza A, Chávez H, Vega R. Mecanismos celulares y moleculares de la neurotoxicidad del plomo. Salud Mental. 2005 [acceso 17/04/2022];28(2):48-58. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=6713>
3. Shannon MW. Clinical Management of Poisoning and Drug Overdose. 3rd ed. Philadelphia: Sanders; 1998. p. 767-84.

4. Ibels L, Pollock C. Lead intoxication. Med Toxicol. 1986 [acceso 17/04/2022];1(6):387-410. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF03259851>
5. Ascione I. Intoxicación por plomo en pediatría. Arch Pediatr Urug. 2001 [acceso 17/04/2022];72(2):133-8. Disponible en: <http://www.scielo.edu.uy/pdf/adp/v72n2/v72n2a09.pdf>
6. Skerfving S, Löfmark L, Lundh T, Mikoczy Z, Strömberg U. Late effects of low blood lead concentrations in children on school performance and cognitive functions. Epub. 2015 [acceso 17/04/2022];114-20. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0161813X15000856>
7. Keogh J. Lead. En: Sullivan JB, Krieger GR, editores. Hazardous materials toxicology: clinical principles of environmental health. Baltimore: Williams & Wilkins; 1992 [acceso 17/04/2022]. p. 834-44. Disponible en: https://journals.lww.com/joem/citation/1992/04000/Hazardous_Materials_Toxicology_Clinical.9.aspx
8. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological profile for mercury. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service; 1999 [acceso 17/04/2025]. Disponible en: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lis-LISBR1.1-128>
9. Centers for Disease Control (CDC). 2012 [acceso 17/04/2025]. Disponible en: http://www.cdc.gov/nceh/lead/acclpp/final_document_030712
10. Matute E, Rosselli M, Ardila A, Ostrosky-Solís F. Evaluación Neuropsicológica Infantil (ENI). México: Manual Moderno; 2007. Disponible en: <https://www.libreriaolejnik.com/fichas/21356.pdf>
11. Wechsler D. Escala Wechsler de Inteligencia para niños-IV (WISC-III). Madrid: TEA Ediciones; 1994 [acceso 17/04/2025]. Disponible en:

<https://es.scribd.com/document/337934958/La-Escala-de-Inteligencia-de-Wechsler-Para-Ninos-Wisc-III-Consignas>

12. Reynolds C, Kamphaus R. Sistema de evaluación de la conducta de niños y adolescentes BASC. Madrid: TEA Ediciones; 2004 [acceso 17/04/2025]. Disponible en: <https://www.uam.es/uam/media/doc/1606882544523/basc.pdf>

13. American Psychiatric Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders. 4th ed. DSM-IV. Barcelona: Masson; 1995 [acceso 17/04/2022]. Disponible en: <https://www.cambridge.org/core/journals/the-british-journal-of-psychiatry/article/diagnostic-and-statistical-manual-of-mental-disorders-4th-edn-text-revision-dsmivtr-washington-dc-american-psychiatric-association-2000-943-pp-3999-hb-isbn-0-89042-025-4/4AC047D5A2672031407CCEEA867789A1>

14. Sheehan D, Lecrubier Y, Sheehan KH, Amorim P, Janavs J, Weiller E, *et al.* MINI KID. MINI International Neuropsychiatric Interview para niños y adolescentes. Madrid: Versión en español; 2000 [acceso 17/04/2025]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9881538/>

15. Ramírez V, Rosas R. Estandarización del WISC-III en Chile: descripción del test, estructura factorial y consistencia interna de las escalas. *Psykhé* (Santiago). 2007 [acceso 17/04/2025];16(1):91-109. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-22282007000100008

16. World Health Organization. International Classification of Diseases. 10th ed. 2007 [acceso 17/04/2022]. Disponible en: <https://www.who.int/standards/classifications/classification-of-diseases>

17. Resolución número 8430 de 1993. Normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud. 1993 [acceso 17/04/2025]. Disponible en:

<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/lists/bibliotecadigital/ride/de/dij/resolucion-8430-de-1993.pdf>

18. Centers for Disease Control (CDC). Preventing lead poisoning in young children. Atlanta US: Department of Health and Human Services; 1991 [acceso 17/04/2025]. Disponible en:

[https://books.google.es/books?id=CUGMiyxPL5kC&ots=1_uVNT60wk&dq=Centers%20for%20Disease%20Control%20\(CDC\).%20Preventing%20lead%20poisoning%20in%20young%20children&lr&hl=es&pg=PP7#v=onepage&q=Centers%20for%20Disease%20Control%20\(CDC\).%20Preventing%20lead%20poisoning%20in%20young%20children&f=false](https://books.google.es/books?id=CUGMiyxPL5kC&ots=1_uVNT60wk&dq=Centers%20for%20Disease%20Control%20(CDC).%20Preventing%20lead%20poisoning%20in%20young%20children&lr&hl=es&pg=PP7#v=onepage&q=Centers%20for%20Disease%20Control%20(CDC).%20Preventing%20lead%20poisoning%20in%20young%20children&f=false)

19. Carta P, Carta R, Girei E, Aru G, Flore C, Ibba A, *et al.* Intellectual quotient and environmental exposure to low doses of lead. PUBMED G Ital Med Lav Ergon. 2005 [acceso 17/04/2025];27(1):51-3. Disponible en:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15918227/>

20. Canfield RL, Henderson CR Jr, Cory-Slechta DA, Cox C, Jusko TA, Lanphear BP. Intellectual impairment in children with blood lead concentrations below 10 µg per deciliter. N Engl J Med. 2003 [acceso 17/04/2025];348(16):1517-26. Disponible en:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12700371/>

21. Surkan P, Zhang A, Trachtenberg FD, Bellinger D. Neuropsychological function in children with blood lead levels <10 µg/dL Original Research Article. Neuro Toxicology. 2007 [acceso 17/04/2025];28(6):1170-7. Disponible en:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17868887/>

22. Sobin C, Flores-Montoya MP, Gutierrez MP, Schaub T. δ-Aminolevulinic Acid Dehydratase Single Nucleotide Polymorphism 2 (ALAD2) and Peptide Transporter 2*2 Haplotype (hPEPT2*2) Differently Influence Neurobehavior in Low-Level Lead Exposed Children. Neurotoxicol Teratol. 2015 [acceso 17/04/2025];47:137-45. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25514583/>

23. Chiodo L, Jacobson SW, Jacobson JL. Neurodevelopmental effects of postnatal lead exposure at very low levels. *Neurotoxicology and Teratology*. Department of Psychiatry and Behavioral Neurociences. Wayne State University School of Medicine. Jefferson, Detroit. USA. 2004 [acceso 17/04/2025];26(3):359-63. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15113598/>
24. Lanphear B, Dietrich K, Auinger P. Cognitive deficits associated with blood lead concentrations <10 microg/dL in US children and adolescents. *Public Health Reports*. 2000 [acceso 17/04/2025];115(6):521-6. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11354334/>
25. Valdez J, Abad M, Enríquez M. Prevalencia de plomo en sangre y en agua de consumo, en 3 poblaciones de escolares con peso y talla baja, en zona de presa Manuel Ávila Camacho o Valsequillo, Puebla, durante 5 años. *Med Expert*. 2009 [acceso 17/04/2025];7-14. Disponible en: <https://www.imbiomed.com.mx/articulo.php?id=69221>
26. Rodríguez A, Espinal G. Niveles De Plomo En Sangre Y Factores De Riesgo Asociados En Niños De 2 A 10 Años En El Barrio Villa Francisca, Santo Domingo, República Dominicana. *Ciencia y Sociedad*. 2008 [acceso 17/04/2025];33(4):595-609. Disponible en: <https://revistas.intec.edu.do/index.php/ciso/article/view/837/html>
27. Aguilar J, Bermejo P, Romero M, García R, Sardiñas O, Orris P. Niveles de plomo en sangre y factores asociados, en niños del municipio de Centro Habana. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología (INHEM). *Rev Cubana Hig Epidemiol*. 2003 [acceso 17/04/2025]. Disponible en: <https://revepidemiologia.sld.cu/index.php/hie/article/view/772>
28. Martinsa E, Vareaa A, Hernández K, Salaa M, Girardellib A, Fasanoa V, Disalvoa L. Niveles de plumbemia en niños de 1 a 6 años en la región de La Plata, Argentina. Identificación de factores de riesgo de exposición al plomo [Internet]. Argentina:

Instituto de desarrollo e Investigaciones Pediátricas. Ministerio de Salud/Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires; 2016 [acceso 17/04/2025]. Disponible en:

<https://www.sap.org.ar/docs/publicaciones/archivosarg/2016/v114n6a11.pdf>

29. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. 2007 [acceso 17/04/2025].

Disponible en: http://www.atsdr.cdc.gov/es/csem/plomo/es_pb-normas.html

30. Olivero J, Duarte M, Guette J, Johnson B, Parsons P. Blod lead levels in children aged 5-9 years living in Cartagena, Colombia. 2006 [acceso 17/04/2025].

Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17157895>

31. Mendez F. Evaluación de los efectos sobre la salud debidos a la contaminación del aire proveniente del sector industrial de Acopi-Yumbo, proyecto piloto en el municipio de Cali. [Lugar de publicación desconocido]: [Editorial desconocido];

2008 [acceso 17/04/2025]. Disponible en:

<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IGUB/Diagnostico%20de%20salud%20Ambiental%20compilado.pdf>

32. Hurtado C, Gutiérrez M, Echeverry J. Aspectos clínicos y niveles de plomo en niños expuestos de manera paraocupacional en el proceso de reciclaje de baterías de automóviles en las localidades de Soacha y Bogotá, D.C. Biomédica. 2008 [acceso 17/04/2025];28(Supl 1):117-9. Disponible en:

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-41572008000100013

33. Gottesfield P, Pohrel A. Lead exposure in battery manufacturing and recycling in developing countries and among children in nearby communities. J Occup Environ Hyg. 2008 [acceso 17/04/2025];5(1):20-32. Disponible en:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21793732/>

34. Bradman A, Eskenazi B, Sutton P, Athanasoulis M, Goldman L. Iron deficiency associated with higher blood lead in children living in contaminated environments. *Environ Health Perspect.* 2001 [acceso 17/04/2025];109(10):1079-84. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11675273/>
35. McLoyd V. Socioeconomic disadvantage and child development. *American Psychologist.* 1998 [acceso 17/04/2025];53(2):185-204. Disponible en: <https://psycnet.apa.org/record/1997-38813-008>
36. Coria C, Cabello A, Tassara E, López E, Rosales H, Pérez M, *et al.* Efectos clínicos a largo plazo en niños intoxicados con plomo en una región del sur de Chile. *Rev Méd Chile.* 2009 [acceso 17/04/2025];137(9):1037-44. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-98872009000800006
37. Rogan W. The effect of chelation therapy with succimer on neuropsychological development in children exposed to lead. *N Engl J Med.* 2001 [acceso 17/04/2025];344(19):1421-6. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11346806/>
38. Ordóñez BR, Romero LR, Mora R. Investigación epidemiológica sobre niveles de plomo en la población infantil y en el medio ambiente domiciliario de Ciudad Juárez, Chihuahua, en relación con una fundición de El Paso, Texas. *Salud Publica Mex.* 2003 [acceso 17/04/2025];45(3):281-95. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342003000800015
39. Navarrete J, Sanín L, Escandón C, Benitez G, Olaiz G, Hernández S. Niveles de plomo sanguíneo en madres y recién nacidos derechohabientes del Instituto Mexicano del Seguro Social. *Salud Publica Mex.* 2000 [acceso 17/04/2025];42(5):391-5. Disponible en: <https://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/6256>

40. Guillén D, Escate F, Rivera F, Guillén D. Plomo en sangre de cordón umbilical de neonatos nacidos en un hospital del norte de Lima. Rev Peru Med Exp Salud Publica. 2013 [acceso 17/04/2025];30(2):224-7. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-46342013000200010&script=sci_abstract&tlng=en
41. Díaz Gómez A. Alteraciones Neurológicas por Exposición a Plomo en Trabajadores de Procesos de Fundición, Soacha. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Medicina, Departamento de Toxicología Bogotá, Colombia; 2011 [acceso 17/04/2025]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9595>
42. Clark D, Boutros N, Méndez M. El cerebro y la conducta. Neuroanatomía para psicólogos. México: Manual Moderno; 2005 [acceso 17/04/2025]. Disponible en: https://conductitlan.org.mx/12_educacionespecial/Materiales/L_El_cerebro_y_la_conducta_Neuroanatomia.pdf
43. Barrios M, Guàrdia J. Relación del cerebelo con las funciones cognitivas: evidencias neuroanatómicas, clínicas y de neuroimagen. REV NEUROL. 2001 [acceso 17/04/2025];33(6):582-91. Disponible en: <https://www.neurologia.com/33/6/10.33588/rn.3306.2001181>
44. Campbell J, Woolley D, Vijayan V. Morphometric effects of postnatal lead exposure on hippocampal development on the 15-day-old rat. Developmental Brain Research. 1982 [acceso 17/04/2025];5(3):595-601. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7074364/>
45. Cecil K, Dietrich K, Altaye M, Egelhoff J, Lindquist D, Brubaker C, *et al.* Proton Magnetic Resonance Spectroscopy in Adults with Childhood Lead Exposure. Environ Health Perspect. 2005 [acceso 17/04/2025];113(3):403-8. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20947467/>

46. Barkur R, Bairy L. Histological study on hippocampus, amygdala and cerebellum following low lead exposure during prenatal and postnatal brain development in rats. Pubmed. 2014;10. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25147304/>
47. US Department of Health and Human Services, Public Health Service. Agency of Toxic Substances and Disease Registry. Case studies in environmental medicine. Lead toxicity. Atlanta, GA: The Agency; 2007 [acceso 17/04/2025]. Disponible en: https://stacks.cdc.gov/view/cdc/5212/cdc_5212_DS1.pdf
48. Henretig F, Goldfrank L, Flomembaum N, Lewin N, Howland M, Hoffman R, Nelson L. Goldfrank's toxicologic emergencies. 7th ed. New York: McGraw-Hill Professional; 2002 [acceso 17/04/2025]. Disponible en: <https://accesspharmacy.mhmedical.com/book.aspx?bookid=2569>
49. Moreno A, Granada J. Intoxicación por plomo: diagnóstico diferencial de dolor abdominal crónico. Reporte de caso y revisión de tema. Bogotá: Univ. Méd. Bogotá (Colombia). 2012;33(1):56-61. Disponible en: <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/vnimedica/article/view/16135>
50. Wechsler D. The Measurement of adult intelligence. 3rd ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1944 [acceso 17/04/2025]. Disponible en: <https://archive.org/details/measurementofadu001469mbp/page/n5/mode/2up>
51. Carta P, Aru G, Carta L, Carta R, Ibba A. Intelligence and neurocognitive tests among students living in a industrialized region of Sardinia with relatively low blood levels of lead. PubMed. 2013 [acceso 17/04/2025]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23798232/>
52. Handal-Silva A, Macías-Rodríguez C. Toxicología del plomo. En: Tópicos selectos de toxicología de la reproducción. México: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla; 2009 [acceso 17/04/2025]. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=47604>

53. Hawk B, Schroeder S, Robinson G, Otto D, Mushak P, Keinbaum D, *et al.* Relation of lead and social factors to IQ of low-SES children: a partial replication. *Am J Ment Defic.* 1986 [acceso 17/04/2025];91(2):178-83. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3766618/>
54. Schroeder S, Hawk B, Otto D, Mushak P, Hicks R. Separating the effects of lead and social factors on IQ. *Environ Res.* 1985 [acceso 17/04/2025];38(1):144-54. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/4076103/>
55. Lanphear B, Hornung R, Khoury J, Yolton 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 [acceso 17/04/2025];113(7):894-9. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1257652/>
56. Barclay F, De Castro R, Ordóñez J, Iriarte. Estimación De Los Puntos De Cociente Intelectual (Ci) Perdidos En Niños Indígenas Debido A Los Niveles De Plomo En Sangre En La Cuenca Petrolera Del Río Corrientes, Perú. En: Programa de políticas públicas y derechos de los pueblos indígenas. Perú: Cuadernos Equidad; 2005 [acceso 17/04/2025]. Disponible en: https://www.ohchr.org/sites/default/files/Documents/Issues/Environment/ChildRightsHazardousSubstances/Equidad_Peru.pdf
57. Monsell S. Task switching. *Trends Cogn Sci.* 2003 [acceso 17/04/2025];7(3):134-40. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12639695/>
58. Stiles K, Bellinger D. Neuropsychological correlates of low-level lead exposure in school-age children: a prospective study. *Neurotoxicol Teratol.* 1993 [acceso 17/04/2025];15(1):27-35. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8459785/>

59. Centers for Disease Control & Prevention (CDC). Preventing Lead Poisoning in Young Children [Internet]. Atlanta, GA: CDC; 20 de 08 de 2010 [acceso 17/04/2025]. Disponible en: <http://www.cdc.gov/nceh/lead/publications/PrevLeadPoisoning.pdf>
60. Roy A, Bellinger D, Hu H, Schwartz J, Ettinger AS, Wright RO, *et al.* Lead exposure and behavior among young children in Chennai, India. *Environ Health Perspect.* 2009;117(10):1607-11. DOI: <https://doi.org/10.1289/ehp.0900625>
61. Braun JM, Froehlich TE, Daniels JL, Dietrich KN, Hornung R, Auinger P, *et al.* Association of environmental toxicants and conduct disorder in U.S. children: NHANES 2001-2004. *Environ Health Perspect.* 2008;116(7):956-62. DOI: <https://doi.org/10.1289/ehp.11177>
62. Fracchia L, Martínez N, Nora R, Soria N, Gandur M, Vargas P. Behavior Alterations of Contaminated Lead Mice Exposed to Ansiogenic stimulus. *Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias.* 2010;10(1):23-33. Disponible en: <http://revistaneurociencias.com/index.php/RNNN/article/view/249>
63. Luria AR. *El Cerebro en Acción.* Barcelona: Fontanella S.A.; 1973 [acceso 17/04/2025]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/163375024/El-Cerebro-en-Accion-Luria>
64. Ardila A, Ostrosky-Solís F. *Diagnóstico del daño cerebral. Enfoque neuropsicológico.* México: Editorial Trillas; 2005 [acceso 17/04/2025]. Disponible en: <http://bloguamx.byethost10.com/wp-content/uploads/2015/04/diagnostico-dac3b1o-cerebral.pdf?i=1>
65. Bressler JP, Goldstein GW. Mechanisms of lead neurotoxicity. *Biochem Pharmacol.* 1991;41(4):479-84. DOI: [https://doi.org/10.1016/0006-2952\(91\)90617-e](https://doi.org/10.1016/0006-2952(91)90617-e)

66. Seegal RF, Bush B, Brosch KO. Comparison of effects of Aroclors 1016 and 1260 on non-human primate catecholamine function. *Toxicology*. 1991;66(2):145-63. DOI: [https://doi.org/10.1016/0300-483x\(91\)90215-m](https://doi.org/10.1016/0300-483x(91)90215-m)
67. Stewart PW, Sargent DM, Reihman J, Gump BB, Lonky E, Darvill T, *et al*. Response inhibition during Differential Reinforcement of Low Rates (DRL) schedules may be sensitive to low-level polychlorinated biphenyl, methylmercury, and lead exposure in children. *Environ Health Perspect*. 2006;114(12):1923-9. DOI: <https://doi.org/10.1289/ehp.9216>
68. Chiodo LM, Covington C, Sokol RJ, Hannigan JH, Jannise J, Ager J, *et al*. Blood lead levels and specific attention effects in young children. *Neurotoxicol Teratol*. 2007;29(5):538-46. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ntt.2007.04.001>
69. Wasserman GA, Staghezza-Jaramillo B, Shrout P, Popovac D, Graziano J. The effect of lead exposure on behavior problems in preschool children. *Am J Public Health*. 1998;88(3):481-6. DOI: <https://doi.org/10.2105/ajph.88.3.481>
70. Minder B, Das-Smaal EA, Brand EF, Orlebeke JF. Exposure to lead and specific attentional problems in schoolchildren. *J Learn Disabil*. 1994;27(6):393-9. DOI: <https://doi.org/10.1177/002221949402700606>
71. Hong SB, Im MH, Kim JW, Park EJ, Shin MS, Kim BN, *et al*. Environmental lead exposure and attention deficit/hyperactivity disorder symptom domains in a community sample of South Korean school-age children. *Environ Health Perspect*. 2015;123(3):271-6. DOI: <https://doi.org/10.1289/ehp.1307420>
72. Braun JM, Kahn RS, Froehlich T, Auinger P, Lanphear BP. Exposures to environmental toxicants and attention deficit hyperactivity disorder in U.S. children. *Environ Health Perspect*. 2006;114(12):1904-9. DOI: <https://doi.org/10.1289/ehp.9478>
73. Kim Y, Cho SC, Kim BN, Hong YC, Shin MS, Yoo HJ, *et al*. Association between blood lead levels (<5 µg/dL) and inattention-hyperactivity and neurocognitive

profiles in school-aged Korean children. Sci Total Environ. 2010;408(23):5737-43.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.07.070>

74. Selbst S. Envenenamiento por plomo en los niños. Arch Pediatr Urug. 2001

[acceso 17/04/2025];72(Suppl 1):S38-S44. Disponible en:

<http://www.scielo.edu.uy/pdf/adp/v72s1/v72s1a07.pdf>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribuciones de los autores

Conceptualización: Natividad Cuentas Cepeda.

Análisis formal: Pedro Puentes Rozo, Johan Acosta Lopez.

Metodología: Natividad Cuentas Cepeda.

Recursos: Natividad Cuentas Cepeda.

Supervisión: Pedro Puentes Rozo, Johan Acosta Lopez.

Validación: Pedro Puentes Rozo, Johan Acosta Lopez.

Visualización: Carlos Alfonso Ardila Duarte.

Redacción-borrador original: Natividad Cuentas Cepeda, Carlos Alfonso Ardila Duarte.

Redacción-revisión y edición: Natividad Cuentas Cepeda, Carlos Alfonso Ardila Duarte.