

# Vigilancia epidemiológica en población infantil expuesta a plomo en Coahuila, México

Efraín Ríos-Sánchez, D en C,<sup>(1)</sup> Marisela Rubio-Andrade, D en C,<sup>(2)</sup>  
Gonzalo Gerardo García-Vargas, D en C.<sup>(1,2)</sup>

Ríos-Sánchez E, Rubio-Andrade M, García-Vargas GG.  
Vigilancia epidemiológica en población infantil  
expuesta a plomo en Coahuila, México.  
Salud Publica Mex. 2025;67:485-493.  
<https://doi.org/10.21149/16774>

Ríos-Sánchez E, Rubio-Andrade M, García-Vargas GG.  
Epidemiological surveillance of a child population  
exposed to lead in Coahuila, Mexico.  
Salud Publica Mex. 2025;67:485-493.  
<https://doi.org/10.21149/16774>

## Resumen

**Objetivo.** Describir las tendencias de los niveles de plomo en sangre (NPS) de la población menor de 16 años ambiental-mente expuesta a plomo desde el año 2010 a 2022. **Material y métodos.** Se cuantificaron los NPS por espectrometría de absorción atómica de 34 261 niños entre el 1 de enero de 2010 y el 31 de diciembre de 2022 en sangre venosa. Se examinaron las tendencias en los NPS por año y edad de los niños. **Resultados.** Los NPS disminuyeron a partir de 2010 (mediana= 5.1 µg/dL; percentiles 5° y 95°= 2.1-12.9 µg/dL) a 2022 (3.3 µg/dL; 1.18-11.1 µg/dL). El porcentaje de niños con NPS superior a 5 µg/dL fue de 52.82% en 2010 y disminuyó a 30.21% en 2022. Por edad, los NPS alcanzan su máximo al año de edad en el periodo de estudio (5.5 µg/dL; 1.7-15.2 µg/dL), disminuyendo paulatinamente a partir de los dos años. Las mujeres tuvieron NPS más bajos en comparación con los hombres (3.4 y 3.8 µg/dL, respectivamente) y disminuyeron más rápido. **Conclusiones.** Los NPS han disminuido notablemente de 2010 a 2022, en parte debido a los esfuerzos de remediación ambiental y vigilancia epidemiológica, sin embargo, siguen siendo altos comparados con otras áreas nacionales e internacionales.

Palabras clave: intoxicación por plomo; vigilancia epidemiológica; niños; metalúrgica; México

## Abstract

**Objective.** To describe the trend of blood lead levels (BLL) in a community under 16 years old, environmentally exposed to lead from 2010 to 2022. **Materials and methods.** BLLs were measured using atomic absorption spectrometry in 34 261 children from January 1, 2010, to December 31, 2022, using venous blood. Data were analyzed to examine trends in BLLs by year and age of the children. **Results.** BLLs decreased from 2010 (median 5.1 µg/dL; 5th and 95th percentiles= 2.1-12.9 µg/dL) to 2022 (3.3 µg/dL; 1.18-11.1 µg/dL). The percentage of children with a BLL greater than 5 µg/dL was 52.82% in 2010 and decreased to 30.21% in 2022. By age, BLL reaches its maximum at one year of age through the period studied (5.5 µg/dL; 1.7-15.2 µg/dL) and gradually declines after age two. Females had lower BLLs than males (medians: 3.4 and 3.8 µg/dL, respectively) and experienced a faster decline. **Conclusions.** BLLs have decreased significantly from 2010 to 2022, partly due to environmental remediation efforts and epidemiological surveillance. Despite these improvements, BLLs remain too high compared to other national and international areas.

Keywords: lead poisoning; epidemiological monitoring; children; metalmechanic industry; Mexico

(1) Secretaría de Salud del Estado de Coahuila, Centro de Atención por Metales Pesados. Torreón, Coahuila, México.

(2) Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Juárez del Estado de Durango. Gómez Palacio, Durango, México.

**Fecha de recibido:** 14 de febrero de 2025 • **Fecha de aceptado:** 4 de junio de 2025 • **Publicado en línea:** 25 de septiembre de 2025  
Autor de correspondencia: Gonzalo Gerardo García-Vargas. Centro de Salud Ambiental, Secretaría de Salud del Estado de Coahuila, Matamoros 456 oriente. 27000, Torreón, Coahuila, México.  
Correo electrónico: toxlaguna@gmail.com

Licencia: CC BY-NC-SA 4.0

El crecimiento de la industria en el norte de México ha creado las condiciones para el desarrollo de serios problemas ambientales, no obstante, la supervisión de los controles ambientales se ha rezagado al ritmo de la industrialización. La fundición Met-Mex Peñoles es el complejo metalúrgico no ferroso más grande de América Latina y de los más grandes en el planeta.<sup>1</sup> Se encuentra localizado en la ciudad de Torreón, Coahuila, la cual es una ciudad industrializada en el centro del norte de México con una población estimada de 720 848 habitantes.<sup>2</sup> La fundidora se encuentra en la zona sur de la ciudad y está rodeada de barrios residenciales<sup>3</sup> cuyo impacto sobre la salud ambiental de la ciudad se ha registrado desde 1977 cuando se informó que los habitantes de Torreón tenían los niveles de plomo más altos en el cabello, en comparación con otras ciudades de México.<sup>4</sup> En 1999, Benin y colaboradores<sup>5</sup> analizaron muestras de polvo obtenidas de barrios alrededor de varias industrias metalúrgicas localizadas en las ciudades de Monterrey, Chihuahua y Torreón, en México, donde se encontró que las concentraciones de todos los metales pesados fueron significativamente más altas alrededor de la fundición activa en Torreón, donde más del 90% de las muestras superaron las metas establecidas internacionalmente en 400  $\mu\text{g/g}$  para plomo en suelo.<sup>6</sup>

Entre 1997 y 2001, publicamos los resultados de varios estudios sobre contaminación ambiental por plomo en Torreón,<sup>7,8</sup> documentando que la contaminación por metales pesados en el suelo, aire y el polvo alrededor de la fundición superaba los niveles aceptables; asimismo, una alta proporción de niños (>95%) que vivían cerca de la fundidora presentaban niveles de plomo en sangre (NPS)  $\geq 10 \mu\text{g/dL}$ , nivel que en 1991 los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC, por sus siglas en inglés) establecieron como valor criterio para ejercer acciones o intervenciones ambientales en niños.<sup>9</sup> Se determinó que la ingesta es el principal mecanismo de exposición a plomo, a través del suelo y el polvo. Como resultado de lo anterior, en el año 2000 se emitió una Norma Oficial Mexicana que estableció como valor criterio un NPS de 10  $\mu\text{g/dL}$  para ejercer acciones por intoxicación por plomo en población menor de 15 años, mujeres embarazadas y en periodo de lactancia.<sup>10</sup> Posteriormente esta norma se modificó en el año 2017 y se disminuyó el valor criterio a 5  $\mu\text{g/dL}$ ,<sup>11</sup> el cual sigue vigente hasta ahora.

Posteriormente, en la ciudad de Torreón en el año de 1999, las autoridades de Salud y Medio Ambiente de México, en conjunto con la empresa fundidora y bajo la vigilancia de organizaciones no gubernamentales, iniciaron un vasto programa de atención médica y vigilancia epidemiológica basado en un decreto oficial del

Gobierno del Estado de Coahuila y de varios organismos reguladores oficiales del Gobierno Federal Mexicano.<sup>12</sup> Paralelamente, la Secretaría de Salud del Estado inauguró una clínica con servicios de pediatría, toxicología, alergología, neurología, psicología, nutriología, trabajo social y enfermería con el fin de atender a la población afectada, que en la actualidad sigue en funcionamiento, para dar seguimiento a las indicaciones de la NOM-199-SSA1-2000.<sup>10</sup>

Muchos niños en Torreón han estado y siguen expuestos al plomo, cuyos efectos negativos para la salud derivados de la exposición están bien establecidos. Estos efectos incluyen problemas neurológicos, renales y hematológicos.<sup>13</sup> Diversos estudios en esta región han demostrado que la intoxicación por plomo en niños da lugar a problemas conductuales y cognitivos, lo que da como resultado un rendimiento escolar reducido,<sup>14-16</sup> por lo cual, los niños se consideran particularmente susceptibles a los efectos tóxicos que ejerce el plomo.

Por todo lo anterior, y con el fin de dar continuidad a los primeros reportes del programa de vigilancia realizado por Rubio-Andrade y colaboradores<sup>3</sup> y Recio-Vega y colaboradores,<sup>17</sup> el cual comprendió el periodo de 1999 al 2010, el objetivo del presente estudio fue realizar un análisis de los NPS de la población por edad y periodos anuales que fueron obtenidos del programa de monitoreo biológico en los niños expuestos en Torreón entre el 1 de enero de 2010 y el 31 de diciembre de 2022. Adicionalmente, se examinaron los cambios en la proporción de niños con NPS  $\geq 5 \mu\text{g/dL}$  estratificados por sexo, debido a que los NPS son diferentes en niños, incluso bajo niveles de exposición ambiental similares.

## Material y métodos

### Población de estudio

El programa de monitoreo biológico de NPS fue implementado en 1999 por parte de los Servicios de Salud del Estado de Coahuila de Zaragoza y es el único programa de vigilancia epidemiológica y seguimiento de exposición a plomo vigente del país. Fueron estudiados todos los niños y adolescentes menores de 16 años que viven en los barrios que rodean en 2 km a la fundición, que fue el área que la autoridad ambiental mexicana (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente)<sup>18</sup> determinó de mayor impacto. A todos los menores de edad se les solicitó por parte de la autoridad sanitaria un consentimiento informado por escrito firmado por uno de los padres o tutor y una muestra de sangre venosa periférica en tubo con anticoagulante EDTA para la determinación del NPS. Los resultados fueron entregados por escrito a los padres

de los menores, repitiendo la determinación de acuerdo con los lineamientos de la normatividad vigente.<sup>11</sup> Este estudio y seguimiento de la población ambientalmente expuesta a plomo fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Juárez del Estado de Durango.

El conjunto de datos del programa de monitoreo biológico incluyó un total de 170 140 muestras colectadas de la población cercana a la fundidora entre el 1 de enero de 2010 y el 31 de diciembre de 2022. Fueron excluidas del análisis las personas mayores a 16 años debido a que se priorizó desde el inicio del programa la atención a la población más vulnerable, que son los niños y niñas, como se establece en la tabla 1 de la Norma Oficial Mexicana (NOM-199-SSA1-2000 modificación 2017<sup>11</sup>). Los mayores de 16 años no están excluidos del programa de atención, pero sólo se da seguimiento cuando presentan NPS mayores a 25 µg/dL, según la tabla 2 de la misma normativa. El número de personas >16 años es muy pequeño y su seguimiento operativo ha sido limitado por lo que no se presentan en este trabajo.

Para representar adecuadamente a los sujetos en seguimiento, se calculó el promedio de edad y promedio de NPS por año por persona, por lo tanto, en total se presenta el seguimiento de 34 261 personas del 2010 al 2022, lo cual representa a 119 904 promedios anuales analizados de manera longitudinal. Este último valor es superior debido a que una persona pudo haber sido estudiada por varios años durante todo el periodo del estudio. Adicionalmente, con el fin de no subestimar los NPS reales de la población, las cuantificaciones por debajo del límite de cuantificación de los procedimientos empleados (1.4 µg/dL) fueron representados como el valor de su raíz cuadrada (1.18 µg/dL).

## Recopilación de datos

La base de datos del programa de monitoreo incluyó información sobre la edad, sexo, fecha de nacimiento, fecha de toma de muestra, NPS y domicilio. Dos instituciones realizaron las mediciones del NPS durante el periodo de estudio a lo largo del programa de monitoreo biológico, mediante espectrometría de absorción atómica con horno de grafito (Analist-600, Perkin Elmer) en el laboratorio central de la Unidad de Salud Ambiental perteneciente a la fundidora Met-Mex Peñoles y en la Facultad de Medicina de Unidad Torreón de la Universidad Autónoma de Coahuila. Los laboratorios utilizaron estándares certificados del *National Institute of Standards* para metales en sangre y se realizaron estudios de intercalibración con muestras ciegas. En todos los casos, los resultados se reportaron al programa de vigilancia y atención de niños expuestos a plomo de los Servicios de Salud de Coahuila.

## Análisis estadístico

Debido a que a un sujeto se le determina más de una ocasión el NPS al año, los análisis descriptivos se realizaron calculando el promedio anual del NPS y la edad de cada sujeto por año, como fue descrito previamente. Se calcularon las medianas, los percentiles 5° y 95° y el porcentaje de participantes con NPS superiores a 5 µg/dL en función al sexo, año de muestra y grupo de edad. Para la clasificación de las categorías de plomo, se tomó como referencia la normativa mexicana NOM-199-SSA1-2000 modificada en 2017.<sup>11</sup> Todos los análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico STATA versión 17.

## Resultados

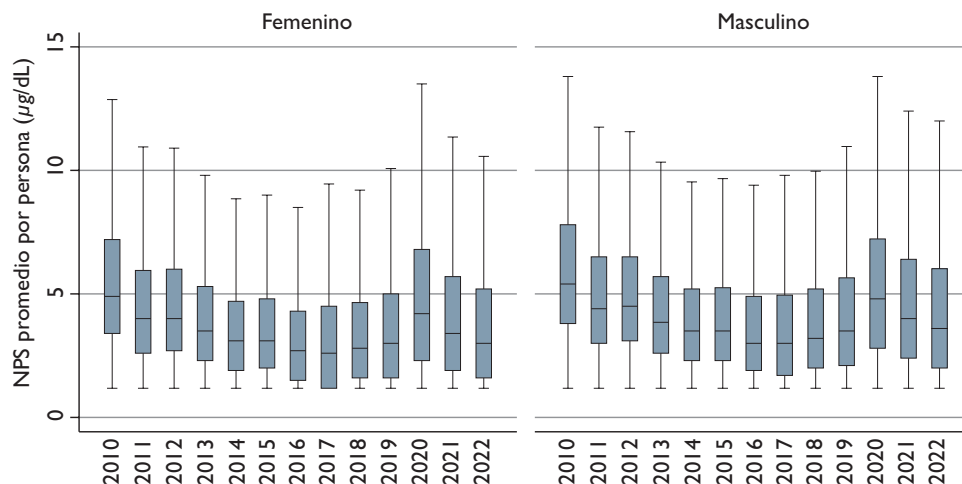
De manera general, los NPS de los participantes presentaron una mediana de 3.6 µg/dL (percentiles 5°-95°: 1.18-10.3 µg/dL). En el año 2010, los NPS fueron de 5.1 µg/dL (2.1-12.9 µg/dL), posteriormente se presentó el nivel más bajo de 2.8 µg/dL (1.18-8.9 µg/dL) en el año 2016 para finalmente en el 2022 localizarse en 3.3 µg/dL (1.18-11.1 µg/dL), NPS 35% más bajo que el 2010 (cuadro I). En cuanto al análisis por grupo de edad, la mayor parte de la población estudiada fue de 6 a 10 años (32%) con una mediana de 3.5 µg/dL (1.18-8.9 µg/dL), sin embargo, el grupo de edad que presentó el NPS más bajo fue el de 11 a 15 años con una mediana de 2.4 µg/dL (1.18-6.8 µg/dL), que representó el 26% del total de la población estudiada, mientras que los NPS más altos se presentaron en el grupo de edad de un año con una mediana de 5.5 µg/dL (1.7-15.2 µg/dL).

En cuanto al análisis estratificado por sexo, los resultados muestran una mediana de 3.8 µg/dL (1.18-10.8 µg/dL) y 3.4 µg/dL (1.18-9.9 µg/dL) en hombres y mujeres, respectivamente (cuadro I). Los hombres alcanzaron su máximo NPS durante el primer año de vida (mediana de 5.5 µg/dL [1.7-15.3 µg/dL]) y disminuyeron progresivamente a partir de esta edad (mediana a la edad de 15 años 2.9 µg/dL [1.18-7.5 µg/dL]). Los NPS en los hombres disminuyeron de una mediana de 5.4 µg/dL (2.2-13.1 µg/dL) en 2010 a una mediana de 3.6 µg/dL (1.18-11.5 µg/dL) en 2022, lo cual representa una disminución del 33% (figura 1). En las mujeres, la mediana del NPS en el primer año de vida fue de 5.4 µg/dL (1.8-15.0 µg/dL) y posteriormente disminuyeron conforme avanza la edad (mediana a la edad de 15 años: 2.1 µg/dL [1.18-5.8 µg/dL]). En las mujeres, la mediana del NPS disminuyó de 4.9 µg/dL (2.0-12.5 µg/dL) en 2010 a 3.0 µg/dL (1.18-10.8 µg/dL) en 2022, lo cual representa una disminución del 38%. La proporción del NPS mayor a 5 µg/dL disminuyó anualmente en hombres y mujeres de 56.1 y 49.4%

**Cuadro I**  
**MEDIANAS DE LOS PROMEDIOS DE LOS NPS DE CADA PARTICIPANTE EN GENERAL Y**  
**ESTRATIFICADO POR SEXO Y AÑO. PROGRAMA DE VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA POR METALES**  
**PESADOS DE LA SECRETARÍA DE SALUD. TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO, 2010-2022**

	General			Hombres		Mujeres	
	n (%)	NPS (µg/dL) Mediana (5to-95vo percentil)	Min - Máx	n (%)	NPS (µg/dL) Mediana (5to-95vo percentil)	n (%)	NPS (µg/dL) Mediana (5to-95vo percentil)
	119 904 (100)	3.6 (1.18-10.3)	1.18-52.1	60 649 (100)	3.8 (1.18-10.8)	59 255 (100)	3.4 (1.18-9.9)
Año de muestra							
2010	8 214 (6.85)	5.1 (2.1-12.9)	1.18-52.1	4 159 (6.86)	5.4 (2.2-13.1)	4 055 (6.84)	4.9 (2.0-12.5)
2011	14 098 (11.76)	4.2 (1.5-11.0)	1.18-42.5	7 200 (11.87)	4.4 (1.7-11.4)	6 898 (11.64)	4.0 (1.18-10.6)
2012	10 353 (8.63)	4.2 (1.8-10.7)	1.18-32.4	5 228 (8.62)	4.5 (1.9-11.1)	5 125 (8.65)	4.0 (1.7-10.2)
2013	12 657 (10.56)	3.7 (1.18-9.8)	1.18-31.2	6 396 (10.55)	3.8 (1.18-10.1)	6 261 (10.57)	3.5 (1.18-9.6)
2014	11 925 (9.95)	3.3 (1.18-9.3)	1.18-35.9	6 035 (9.95)	3.5 (1.18-9.7)	5 890 (9.94)	3.1 (1.18-8.8)
2015	11 941 (9.96)	3.3 (1.18-9.2)	1.18-34.9	6 110 (10.07)	3.5 (1.18-9.5)	5 831 (9.84)	3.1 (1.18-8.9)
2016	9 396 (7.84)	2.8 (1.18-8.9)	1.18-35.4	4 764 (7.86)	3.0 (1.18-9.2)	4 632 (7.82)	2.7 (1.18-8.6)
2017	7 198 (6.00)	2.8 (1.18-9.3)	1.18-50.7	3 635 (5.99)	3.0 (1.18-9.7)	3 563 (6.01)	2.6 (1.18-8.8)
2018	8 177 (6.82)	3.0 (1.18-9.4)	1.18-30.0	4 097 (6.76)	3.2 (1.18-9.8)	4 080 (6.89)	2.8 (1.18-9.0)
2019	9 006 (7.51)	3.2 (1.18-10.3)	1.18-38.4	4 526 (7.46)	3.5 (1.18-10.8)	4 480 (7.56)	3.0 (1.18-9.8)
2020	3 249 (2.71)	4.5 (1.18-12.4)	1.18-31.6	1 700 (2.80)	4.8 (1.18-12.8)	1 549 (2.61)	4.2 (1.18-11.8)
2021	4 886 (4.07)	3.6 (1.18-11.7)	1.18-42.3	2 446 (4.03)	4.0 (1.18-12.3)	2 440 (4.12)	3.4 (1.18-11.3)
2022	8 804 (7.34)	3.3 (1.18-11.1)	1.18-37.8	4 353 (7.18)	3.6 (1.18-11.5)	4 451 (7.51)	3.0 (1.18-10.8)
Edad (años)							
<1	7 211 (6.01)	3.8 (1.18-12.5)	1.18-52.1	3 727 (6.15)	3.7 (1.18-12.4)	3 484 (5.88)	3.8 (1.18-12.9)
1	8 577 (7.15)	5.5 (1.7-15.2)	1.18-35.4	4 374 (7.21)	5.5 (1.7-15.3)	4 203 (7.09)	5.4 (1.8-15.0)
2	8 611 (7.18)	5.2 (1.7-13.2)	1.18-50.7	4 384 (7.23)	5.2 (1.7-13.2)	4 227 (7.13)	5.2 (1.7-13.1)
3-5	25 600 (21.35)	4.6 (1.5-11.2)	1.18-42.3	13 094 (21.59)	4.8 (1.5-11.6)	12 506 (21.11)	4.5 (1.18-10.9)
6-10	38 410 (32.03)	3.5 (1.18-8.9)	1.18-42.4	19 509 (32.17)	3.7 (1.18-9.6)	18 901 (31.9)	3.3 (1.18-8.3)
11-15	31 495 (26.27)	2.4 (1.18-6.8)	1.18-31.6	15 561 (25.66)	2.9 (1.18-7.5)	15 934 (26.89)	2.1 (1.18-5.8)
Muestras de sangre analizadas/persona							
1	11 281 (9.41)	3.4 (1.18-9.6)	1.18-28.3	5 623 (9.27)	3.6 (1.18-9.9)	5 658 (9.27)	3.1 (1.18-9.3)
2	10 998 (9.17)	3.6 (1.18-10.9)	1.18-42.3	5 511 (9.09)	3.8 (1.18-11.0)	5 487 (9.26)	3.3 (1.18-10.9)
3-4	24 564 (20.49)	3.5 (1.18-10.3)	1.18-42.4	12 355 (20.37)	3.7 (1.18-11.7)	12 209 (20.6)	3.3 (1.18-9.7)
5-9	58 600 (48.87)	3.6 (1.18-10.0)	1.18-50.7	29 840 (49.2)	3.8 (1.18-10.3)	28 760 (48.54)	3.4 (1.18-9.8)
10-13	14 461 (12.06)	4.0 (1.18-11.5)	1.18-52.1	7 320 (12.07)	4.5 (1.18-12.1)	7 141 (12.05)	3.7 (1.18-10.8)

n: Cantidad de sujetos muestreados; NPS: nivel de plomo en sangre; Máx: NPS máximo; Mín: NPS mínimo



Nota: Las cajas representan las medianas de los promedios de cada participante por año calendario y rango intercuartílico; los bigotes representan el valor superior e inferior, respectivamente.

**FIGURA 1. PROMEDIOS DE LOS NIVELES DE PLOMO POR AÑO CALENDARIO, ESTRATIFICADO POR SEXO. PROGRAMA DE VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA POR METALES PESADOS DE LA SECRETARÍA DE SALUD. TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO, 2010-2022**

en 2010, a 24.5 y 19.6% en 2016, y a 34 y 26.4% en 2022 (figura 2). En ambos sexos, conforme avanza la edad, las proporciones en categorías superiores disminuyen, mientras que la categoría I, que incluye niveles inferiores a 5  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , aumenta progresivamente (figura 3). Esta disminución fue más acentuada para las mujeres que para los hombres (no mostrado en los cuadros, prueba de Mann-Whitney: para 0 años  $p=0.035$ , para 1 año  $p=0.47$ , para 2 años  $p=0.78$ , para 3 años  $p=0.0056$ , para 4 años y hasta 16 años  $p<0.0001$ ).

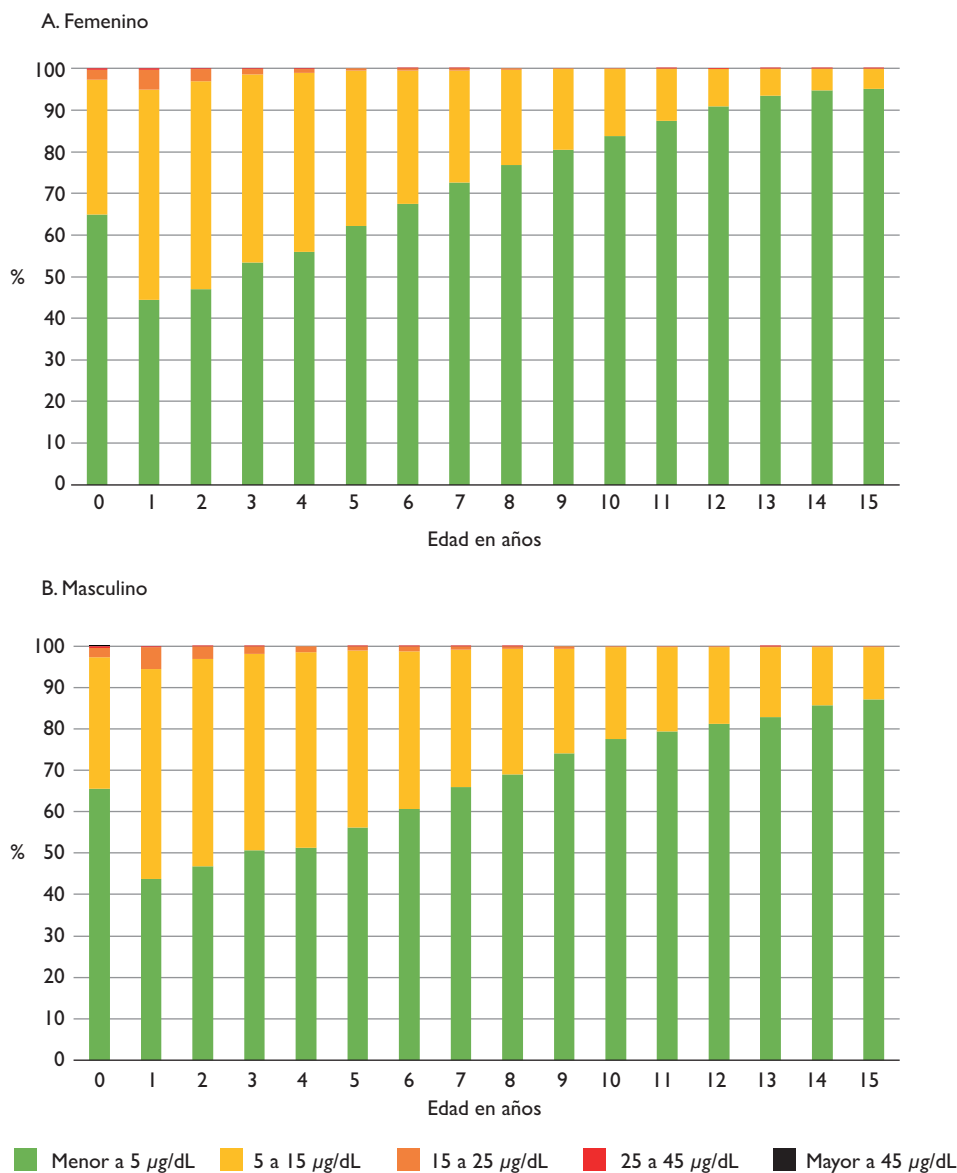
## Discusión

Los NPS elevados en la población infantil de Torreón han sido una preocupación de larga data. En 1976, Albert y colaboradores encontraron que la concentración media de plomo en muestras de cabello de niños y adolescentes de Torreón fue de 55.1  $\mu\text{g}/\text{g}$  (rango: 5-220  $\mu\text{g}/\text{g}$ ), mientras que en una población rural los valores encontrados fueron de 4.2  $\mu\text{g}/\text{g}$  (rango: no detectable-13  $\mu\text{g}/\text{g}$ ) y en la Ciudad de México fue de 12.1  $\mu\text{g}/\text{g}$  (rango: 3-41  $\mu\text{g}/\text{g}$ ) en el mismo año.<sup>4,19</sup> En la década de 1980, Calderón-Salinas y colaboradores encontraron NPS notablemente más altos en niños que vivían y asistían a la escuela a menos de 1 kilómetro de distancia de la fundición (promedio del NPS: 17.4  $\mu\text{g}/\text{dL}$ ) en comparación con niños residentes a más de 4.5 kilómetros de la fundición (promedio del NPS: 6.4  $\mu\text{g}/\text{dL}$ ).<sup>20</sup> Estas observaciones se confirmaron en 1997, donde el 77% de

los estudiantes de una escuela situada a 650 metros de la fundición presentaron NPS con promedio de 20  $\mu\text{g}/\text{dL}$ .<sup>8</sup> El papel de la fundición en la contaminación por plomo en Torreón se confirmó por el aumento de las concentraciones de plomo en muestras de aire y polvo próximas a la fundición.<sup>8,21,22</sup>

La disminución de los NPS en los niños y adolescentes de Torreón entre 2010 y 2022 que se presentan en este estudio está directamente relacionada con los esfuerzos de remediación en los barrios que rodean la fundición. La movilización de organizaciones no gubernamentales locales, madres de familia, medios de comunicación y autoridades estatales y federales dieron lugar a la actuación oficial del gobierno en 1999.<sup>12,18</sup> Por mandato de la autoridad, la empresa fundidora implementó medidas de remediación, como el uso de aspiradoras de alta eficiencia para recoger polvo de las calles, techos y casas en un radio de 2 kilómetros de la fundición, así como varias acciones de ingeniería para disminuir las emisiones de la planta, y la reubicación de los residentes en los barrios más cercanos a la fundición.

En este estudio se muestra claramente que los NPS en niños y adolescentes que residen en Torreón, Coahuila, y habitan una zona cercana a la fundidora, continuaron con una tendencia a la disminución desde 2010 al 2022, tal y como lo hicieron de 1998 a 2010;<sup>3,17</sup> a pesar de estos esfuerzos de remediación, nuestro estudio muestra que los NPS en una fracción importante de niños y adolescentes siguen siendo considerablemente altos (>5  $\mu\text{g}/\text{dL}$ ).



**FIGURA 2. CATEGORIZACIÓN DEL NIVEL DE PLOMO SEGÚN LA NOM-199-SSAI-2017 POR EDAD Y SEXO. TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO, 2010-2022**

Esta investigación está en acuerdo con los análisis transversales y longitudinales que indican que los niveles de plomo alcanzan su punto máximo durante los primeros años de vida.<sup>23</sup> Los niños pequeños pasan más tiempo jugando cerca del suelo y, por lo tanto, son más propensos a respirar polvo y a presentar un mayor comportamiento de mano a boca (figura 3). En nuestro escenario, la fuente de exposición es a través del polvo contaminado con plomo, y las acciones de comunicación de riesgo dirigidas a la población consisten en fomentar hábitos higiénicos, enfatizando la

importancia de mantener los espacios limpios y libres de polvo, especialmente aquellos en donde tienden a jugar los niños, fomentar el baño diario, la limpieza de las manos y el cambio de ropa de vestir y de cama de manera habitual. Adicionalmente, los niños menores a tres años comen, beben y respiran más en relación con su peso corporal que los adultos. Por vía oral, los niños de 2 a 8 años absorben 40-50% del plomo soluble en el tracto gastrointestinal, mientras que los adultos sólo absorben 3-10% por esta vía hacia el torrente sanguíneo.<sup>6</sup>



**FIGURA 3. CATEGORIZACIÓN DEL NIVEL DE PLOMO SEGÚN LA NOM-199-SSAI-2017 POR AÑO Y SEXO. TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO, 2010-2022**

Posterior al punto máximo del NPS en los primeros tres años de vida, se presenta una disminución conforme avanza la edad, misma que fue más acentuada para las mujeres que para los hombres, lo que resultó en NPS significativamente más bajos. Las razones de las diferencias entre el sexo y los NPS no se conocen completamente, aunque se ha sugerido que los niños pueden tener diferentes hábitos de juego al aire libre comparados con las niñas y, por lo tanto, pueden estar expuestos a niveles de plomo más altos. Nuestro análisis pone de relieve el gran número de niños y adolescentes

que han estado expuestos a altos niveles de plomo en Torreón e indica que, a pesar de la disminución de los NPS a lo largo del tiempo, una gran proporción de la población de Torreón sigue expuesta a niveles de plomo inaceptablemente altos.

Es importante destacar que hubo un incremento apreciable, estadísticamente significativo, en los años 2020-2021 (figura 1), el cual puede ser atribuido a las acciones de contención social y laboral provocados por la pandemia de Covid-19, que ocasionaron una disminución en las acciones de limpieza y mitigación ambiental.

Este resultado refleja la sensibilidad de los NPS como indicador de la exposición ambiental a plomo en este escenario contaminado.

Por último, hay evidencias de que no existe un umbral del efecto de la exposición al plomo sobre la inteligencia, por tanto, incluso NPS en el rango de 5-10  $\mu\text{g}/\text{dL}$  pueden provocar efectos deletéreos en los niños.<sup>24</sup> El impacto en la salud de estas exposiciones de bajo nivel es una consideración importante para la permanencia del programa de atención médica y vigilancia epidemiológica en Torreón. Además de la exposición al plomo, los residentes de Torreón también están expuestos a altos niveles de cadmio, arsénico y otros contaminantes.<sup>8,21,25</sup> Se desconoce el impacto en la salud de estas coexposiciones, mismas que merecen investigaciones adicionales.

En conclusión, este estudio documenta los importantes avances en la disminución de la exposición ambiental a plomo como consecuencias de las actividades minero-metalúrgicas que se presenta en la ciudad de Torreón, Coahuila, en los últimos 12 años. Esta evolución apoya la postura de que un escenario de contaminación compleja con plomo puede ser modificada ambientalmente. No obstante, es indispensable continuar con el biomonitoreo en la ciudad con el objetivo de mantener la vigilancia de esta problemática ambiental, asimismo, es importante que las acciones de comunicación de riesgos enfocadas al cuidado de la salud pública que se han implementado desde el inicio del programa continúen realizándose de manera regular. Como comentario final, para cumplir con la tarea de alcanzar los NPS dentro de los estándares nacionales e internacionales, es necesario mantener, aumentar y mejorar las acciones de vigilancia epidemiológica, así como de intervención y remediación ambiental en la ciudad.

## Agradecimientos

A los Servicios de Salud de Coahuila por la valiosa colaboración para llevar a cabo esta investigación. También al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt-México) por su apoyo financiero con los proyectos No. 280296, 266815 y PRONACES-321540.

*Declaración de conflicto de intereses.* Los autores declararon no tener conflicto de intereses.

## Referencias

1. Chaparro AE. Buenas prácticas en la industria minera: el caso del Grupo Peñoles en México. México: Comisión Económica para América Latina y el Caribe División de Recursos Naturales e Infraestructura,

2007 [citado febrero 10, 2025]. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/6324-buenas-practicas-la-industria-minera-caso-grupo-penoles-mexico>

2. Economía, Torreón. Economía, empleo y educación, equidad, calidad de vida, educación, salud y seguridad pública. México: Secretaría de Economía, 2025 [citado febrero 10, 2025]. Disponible en: <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/torreon#>

3. Rubio-Andrade M, Valdés-Pérezgasga F, Alonso J, Rosado JL, Cebrián ME, García-Vargas GG. Follow-up study on lead exposure in children living in a smelter community in northern Mexico. *Environ Health*. 2011;10(66):1-7. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-10-66>

4. Albert L, García M. Niveles de plomo en niños mexicanos. XX Congreso Nacional de Ciencias Fisiológicas. México: Ciudad de México, 1977.

5. Benin AL, Sargent JD, Dalton M, Roda S. High concentrations of heavy metals in neighborhoods near ore smelters in Northern Mexico. *Environ Health Perspect*. 1999;107(4):279-84. <https://doi.org/10.2307/3434594>

6. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for lead. Atlanta: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2020 [citado febrero 11, 2025]. Disponible en: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13.pdf>

7. Rubio-Andrade M, Del Razo LM, Borja-Aburto V, Vera-Aguilar E, Cebrián ME, García-Vargas GG. Evaluación de la exposición a plomo en niños residentes en el área conurbada de las Ciudades de Gómez Palacio y Torreón. XVI Congreso Nacional de Investigación Biomédica. México: Monterrey Nuevo León, 1998.

8. García-Vargas GG, Rubio-Andrade M, Del Razo LM, Borja-Aburto V, Vera-Aguilar E, Cebrián ME. Lead exposure in children living in a smelter community in Region Lagunera, Mexico. *J Toxicol Environ Health A*. 2001;62(6):417-29. <https://doi.org/10.1080/00984100150501150>

9. Centers for Disease Control and Prevention. Preventing lead poisoning in young children. Atlanta: CDC, 1991 [citado febrero 11, 2025]. Disponible en: <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/97650>

10. Secretaría de Gobernación. NORMA Oficial Mexicana NOM-199-SSA1-2000, Salud ambiental. Niveles de plomo en sangre y acciones como criterios para proteger la salud de la población expuesta no ocupacionalmente. México: Diario Oficial de la Federación, 2000 [citado febrero 11, 2025]. Disponible en: <https://salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/199ssa10.html>

11. Secretaría de Gobernación. Modificación de los numerales 3, 6.1, tabla 1, así como los numerales 1 y 1.1.10, del Apéndice A, de la Norma Oficial Mexicana NOM-199-SSA1-2000, Salud ambiental. Niveles de plomo en sangre y acciones como criterios para proteger la salud de la población expuesta no ocupacionalmente, publicada el 18 de octubre de 2002. México: Diario Oficial de la Federación, 2017 [citado febrero 11, 2025]. Disponible en: [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5495551&fecha=30/08/2017#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5495551&fecha=30/08/2017#gsc.tab=0)

12. Gobierno del Estado de Coahuila. Decreto por el que se dispone la constitución de un fideicomiso público para el financiamiento y administración de los recursos que se destinarán a la prevención, tratamiento, seguimiento y control de la salud de la población por contaminación de plomo de la ciudad de Torreón, Coah. Periódico Oficial del Gobierno del Estado, 1999 [citado febrero 11, 2025]. Disponible en: [https://periodico.segobcoahuila.gob.mx/modulo\\_versumarioCompleto.asp?Id\\_Sumario=581](https://periodico.segobcoahuila.gob.mx/modulo_versumarioCompleto.asp?Id_Sumario=581)

13. Collin MS, Venkatraman SK, Vijayakumar N, Kanimozhi V, Arbaaz SM, Stacey RGS, et al. Bioaccumulation of lead (Pb) and its effects on human: A review. *J Hazard Mater Adv*. 2022;7:100094. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100094>

14. Kordas K, Stoltzfus RJ, Lopez P, Rosado JL, García-Vargas G, Alatorre-Rico J, et al. Blood lead, anemia, and short stature are independently associated with cognitive performance in Mexican School Children. *J Nutr*. 2004;134(2):363-71. <https://doi.org/10.1093/jn/134.2.363>

15. Kordas K, Canfield RL, López P, Rosado JL, García-Vargas G, Cebrián ME, et al. Deficits in cognitive function and achievement in Mexican first-graders with low blood lead concentrations. *Environ Res*. 2006;100(3):371-86. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2005.07.007>
16. Moodie S, Jalongo N, López P, Rosado J, García-Vargas G, Ronquillo D, et al. The conjoint influence of home enriched environment and lead exposure on children's cognition and behaviour in a Mexican lead smelter community. *Neurotoxicology*. 2013;34:33-41. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2012.10.004>
17. Recio-Vega R, Valdez-Abrego C, Adame-Lopez B, Gurrola-Mendez A. Surveillance of elevated blood lead levels in children in Torreon, Coahuila, Mexico, 1998-2010. *Int J Hyg Environ Health*. 2012;215(5):507-13. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2011.10.009>
18. Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. Met-Mex Peñoles y el plomo en Torreón. Acciones de la Profepa de 1999 a 2000. México: Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, 2000.
19. Albert LA, Badillo F. Environmental lead in Mexico. En: Ware GW (eds). *Reviews of environmental contamination and toxicology*. *Rev Environ Contam Toxicol*. 1991;117:1-49. [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3054-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3054-0_1)
20. Calderón-Salinas JV, Valdéz-Anaya B, Mazúñiga C, Albores-Medina A. Lead exposure in a population of Mexican children. *Hum Exp Toxicol*. 1996;15(4):305-11. <https://doi.org/10.1177/096032719601500406>
21. Garcia-Vargas GG, Rothenberg SJ, Silbergeld EK, Weaver V, Zamoiski R, Resnick C, et al. Spatial clustering of toxic trace elements in adolescents around the Torreón, Mexico lead-zinc smelter. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2014;24:634-42. <https://doi.org/10.1038/jes.2014.11>
22. Soto-Jiménez MF, Flegal AR. Inventory of Pb emissions from one of the largest historic Pb smelter worldwide: 118-year legacy of Pb pollution in northern Mexico. *Environ Sci Pollut Res*. 2021;28(16):20737-50. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11788-8>
23. Pounds JG, Leggett RV. The ICRP age-specific biokinetic model for lead: validations, empirical comparisons, and explorations. *Environ Health Perspect*. 1998;106(suppl 6):1505-11. <https://doi.org/10.1289/ehp.98106s61505>
24. Luby SP, Forsyth JE, Fatmi Z, Rahman M, Sultana J, Plambeck EL, et al. Removing lead from the global economy. *Lancet Planet Health*. 2024;8(11):e966-72. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(24\)00244-4](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(24)00244-4)
25. Rosado JL, Ronquillo D, Kordas K, Rojas O, Alatorre J, Lopez P, et al. Arsenic exposure and cognitive performance in Mexican schoolchildren. *Environ Health Perspect*. 2007;115(9):1371-5. <https://doi.org/10.1289/ehp.9961>