

Contribución de diversas fuentes de exposición a la concentración de plomo en sangre en población infantil mexicana, Ensanut 2022

Belem Trejo-Valdivia, PhD,⁽¹⁾ Carolina Lerma-Treviño, MSc,⁽¹⁾ Marcela Tamayo-Ortiz, ScD,⁽²⁾ Alejandra Cantoral, PhD,⁽³⁾ José Luis Figueroa, PhD,⁽⁴⁾ Martín Romero-Martínez, PhD,⁽⁵⁾ Luz María Gómez-Acosta, MSc,⁽⁵⁾ Daniel Estrada-Sánchez, Ing,⁽⁶⁾ Netzy Peralta-Delgado, PhD,⁽⁷⁾ Luis F Bautista-Arredondo,⁽¹⁾ Martha María Téllez-Rojo, PhD.⁽¹⁾

Trejo-Valdivia B, Lerma-Treviño C, Tamayo-Ortiz M, Cantoral A, Figueroa JL, Romero-Martínez M, Gómez-Acosta LM, Estrada-Sánchez D, Peralta-Delgado N, Bautista-Arredondo LF, Téllez-Rojo MM.

Contribución de diversas fuentes de exposición a la concentración de plomo en sangre en población infantil mexicana, Ensanut 2022. *Salud Pública Mex.* 2023;65:550-558.

<https://doi.org/10.21149/15080>

Trejo-Valdivia B, Lerma-Treviño C, Tamayo-Ortiz M, Cantoral A, Figueroa JL, Romero-Martínez M, Gómez-Acosta LM, Estrada-Sánchez D, Peralta-Delgado N, Bautista-Arredondo LF, Téllez-Rojo MM.

Contribution of different exposition sources to blood lead concentration in Mexican children, Ensanut 2022.

Salud Pública Mex. 2023;65:550-558.

<https://doi.org/10.21149/15080>

Resumen

Objetivo. Analizar la asociación entre fuentes de exposición al plomo (FEPb) y la concentración en sangre capilar (PbS) en menores 1-4 años de edad a nivel nacional y regional, así como cuantificar la contribución relativa de las distintas FEPb. **Material y métodos.** Se utilizaron datos de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (Ensanut 2022). Las FEPb consideradas fueron uso de loza de barro vidriada con plomo (LBVPb), residencia cercana a sitios contaminados y exposición paraocupacional. Se estimaron prevalencias de intoxicación ($PbS \geq 5.0 \text{ mg/dL}$) y medias geométricas de PbS. Se utilizaron modelos de regresión para PbS (escala logarítmica) y la descomposición Shapley-Owen de R^2 para evaluar la contribución relativa de cada FEPb. **Resultados.** Las FEPb estudiadas explican 6% de la variabilidad de PbS a nivel nacional; de éste, 87.3% lo explica el uso de LBVPb, 4.2% otras

Abstract

Objective. To analyze the association between documented sources of lead exposure (PbES) and lead concentrations in capillary blood (BPb) in children 1-4 years old and to quantify the relative contribution of different PbES at national and regional levels. **Materials and methods.** We used data from *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición* (Ensanut 2022). We considered using lead-glazed traditional pottery (PbTP), environmental, and para-occupational as exposure sources. We estimated the prevalence of intoxication ($BPb \geq 5.0 \text{ } \mu\text{g/dL}$) and geometric means of BPb concentration. We adjusted regression models for BPb (logarithmic scale) and Shapley-Owen decomposition of R^2 to assess the contribution of each PbES. **Results.** The studied PbES explains 6% of the total national variability of BPb; 87.3% is explained using LBVPb, 4.2% by environmental exposure sources, and 1.3%

(1) Centro de Investigación en Nutrición y Salud, Instituto Nacional de Salud Pública. Cuernavaca, Morelos, México.

(2) Columbia University Mailman School of Public Health. Nueva York, Estados Unidos.

(3) Universidad Iberoamericana. Ciudad de México, México.

(4) Centro de Investigación en Sistemas de Salud, Instituto Nacional de Salud Pública. Cuernavaca, Morelos, México.

(5) Centro de Investigación en Evaluación y Encuestas, Instituto Nacional de Salud Pública. Cuernavaca, Morelos, México.

(6) Consultor externo.

(7) Pure Earth. Ciudad de México, México.

Fecha de recibido: 14 de junio de 2023 • **Fecha de aceptado:** 14 de septiembre de 2023 • **Publicado en línea:** 13 de noviembre de 2023

Autor de correspondencia: Martha María Téllez-Rojo. Centro de Investigación en Nutrición y Salud, Instituto Nacional de Salud Pública.

Av. Universidad 655, col. Santa María Ahuacatitlán. 62100 Cuernavaca, Morelos, México.

Correo electrónico: mmtellez@insp.mx

Licencia: CC BY-NC-SA 4.0

FEPb ambiental y 1.3% FEPb paraocupacionales. La contribución relativa del uso de LBVPb varía entre regiones, desde 38.1 a 76.8%. Algunas regiones destacan la FEPb ambiental, pero no paraocupacional. **Conclusiones.** Los resultados confirman que el uso de LBVPb es la principal fuente de exposición reportada y sugieren que la población no identifica las principales FEPb documentadas hasta ahora.

Palabras clave: intoxicación por plomo; uso de barro vidriado; exposición ambiental; exposición paraocupacional; riesgos para la salud

by para-occupational exposure. The relative contribution of PbTP use varies across regions, ranging from 38.1 to 76.8%. Some regions show the relevance of PbES of environmental exposure but not para-occupational. **Conclusions.** Our results confirm that among the studied PbES, the use of PbTP is the most frequently reported. Likewise, the results suggest that the population does not identify the currently documented PbES.

Keywords: lead poisoning; use of glazed lead pottery; environmental exposure; para-occupational exposure; health risks

La prevalencia nacional de intoxicación por plomo (Pb) en México ha sido estudiada a partir de la medición de Pb en sangre (PbS) en las Encuestas Nacionales de Salud y Nutrición (Ensanut) desde 2018,^{1,2} utilizando como valor de referencia $PbS \geq 5.0 \mu g / dL$ de acuerdo con la norma oficial mexicana vigente NOM 199-SSA1-2000 para población no expuesta ocupacionalmente.³ La encuesta más reciente (Ensanut 2018-19) documentó una prevalencia nacional de intoxicación en niñas y niños de 1 a 4 años de edad de 17.4% (IC95%: 14.99,20.14), con variaciones estatales significativas, mientras que en estados como Sinaloa y Tabasco se observaron prevalencias prácticamente nulas. En Puebla y San Luis Potosí esta prevalencia fue 46.6% (IC95%: 30.7,63.3) y 37.4% (IC95%: 25.5,51.0), respectivamente.²

El uso en el hogar de loza de barro vidriada con Pb (LBVPb) para cocinar, almacenar o servir alimentos se ha asociado significativa y consistentemente con la presencia de intoxicación en estas encuestas.^{1,2} Sin embargo, prácticamente la mitad de los hogares en donde viven niñas y niños con intoxicación (51.7%) reportó no utilizar este tipo de loza. Estos resultados confirman lo que ha sido ampliamente documentado: el uso de LBVPb en el hogar es una fuente relevante de exposición, pero no es la única.

A partir de los resultados de la Ensanut 2018-19,² en noviembre de 2019 el Consejo de Salubridad General aprobó el Programa de Acción de Aplicación Inmediata para el Control de la Exposición a Plomo en México (PAAICEPM),* cuyo propósito es “implementar de inmediato las acciones de protección a la población infantil contra los riesgos a la salud por exposición a plomo proveniente de la loza vidriada a baja temperatura, así como otros artículos y productos sustituibles”, privilegiando la atención de los grupos más vulnerables. Debido a la contingencia sanitaria por la pandemia

de Covid-19, al momento se ha logrado avanzar en el diseño de implementación del sistema de vigilancia considerado en el PAAICEPM gracias a un esfuerzo multiinstitucional importante, del cual queda pendiente su pilotaje e implementación.*

Si bien este programa busca el control de la exposición a plomo de manera integral en población no ocupacionalmente expuesta, está enfocado exclusivamente en la exposición por uso de LBVPb, aun cuando la bibliografía científica ha identificado otras fuentes de exposición a Pb (FEPb) ambiental (proximidad a sitios contaminados), y paraocupacional (aquella que ocurre cuando algún miembro que reside en el hogar trabaja en algún sitio con exposición a plomo y la persona misma o su ropa de trabajo son el vehículo para llevar la exposición al hogar)⁴ y la Ensanut 2018-2019 lo confirma.

Por esta razón, los objetivos de este estudio son 1) estimar la asociación entre diferentes FEPb ambiental y paraocupacional documentadas por la bibliografía con las concentraciones de PbS en niñas y niños de 1-4 años de edad a nivel nacional y regional, y 2) cuantificar la contribución relativa de cada fuente de exposición en relación con los niveles de PbS en esta población, con el objeto de dimensionar la relevancia del uso de LBVPb según las otras FEPb en México.

Material y métodos

La información de este estudio proviene de una muestra de hogares donde residen niñas y niños de 1 a 4 años, participantes en la Ensanut 2022. Esta es una encuesta probabilística con representatividad nacional y para ocho regiones geográficas del país: Pacífico-Norte: Baja California, Baja California Sur, Nayarit, Sinaloa y Sonora; Frontera-Norte: Coahuila, Chihuahua, Nuevo

* Cebrián A, Farías P, Fritz J, Llamas R, Llorens C, Nucamendi G, et al. Sistema de vigilancia epidemiológica de plomo en sangre en menores de 5 años y en mujeres embarazadas. Coordinación de Mundo Químico. Propuesta para el Consejo de Salubridad General, Programa de acción de aplicación inmediata para el control de la exposición a plomo en México. Ciudad de México: 2020. En prensa.

León y Tamaulipas; Pacífico-Centro: Colima, Jalisco y Michoacán; Centro-Norte: Aguascalientes, Durango, Guanajuato, Querétaro, San Luis Potosí y Zacatecas; Centro: Hidalgo, Tlaxcala y Veracruz; Pacífico-Sur: Guerrero, Morelos, Oaxaca y Puebla; Península: Campeche, Chiapas, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán; y la región conformada por Ciudad de México y Estado de México (CDMX/Edomex).⁵

Se recolectó una muestra de sangre capilar en los menores seleccionados para la encuesta utilizando el dispositivo portátil LeadCare II (Magellan Diagnostics, North Billerica, MA, EU), el cual detecta concentraciones de Pb en un rango de 3.3 a 65 microgramos (μg) por decilitro (dL) de sangre por medio de voltamperometría de redisolución anódica. El personal fue capacitado y siguió procedimientos estandarizados que incluyen limpieza y desinfección previa al muestreo. Para los casos en los que se encontró un valor de $\text{PbS} \geq 25 \mu\text{g/dL}$, se repitió la medición para descartar posible contaminación durante el proceso de muestreo.⁶

Se aplicó un cuestionario diseñado por el grupo de investigación, en donde se indaga sobre FEPb durante los tres meses previos a la entrevista,⁷ considerando la vida media de PbS de 25-30 días.⁸ Las FEPb se dividieron en tres grupos: I. Uso de LBVPb, II. Exposición ambiental y III. Exposición paraocupacional.² El cuestionario fue respondido por la madre o persona que dijo conocer más del hogar, de acuerdo con la metodología de la encuesta. La sección de uso de LBVPb se ha utilizado en encuestas previas y ha mostrado alta consistencia entre el reporte y la medición del biomarcador, por lo que esto se considera un buen indicador de su validez.

I. Uso de LBVPb para la preparación, almacenamiento y consumo de alimentos y bebidas en el hogar. A pesar de que esta fuente podría clasificarse como exposición ambiental, se decidió mantenerla independiente por su arraigo a nivel nacional y por ser la fuente de exposición en la que se enfoca el PAAICEPM. Siguiendo la metodología de encuestas previas, se utilizaron fotografías con el tradicional barro naranja y con el verde (figura suplementaria⁹), como apoyo visual para identificar correctamente el tipo de loza a la que se refiere la pregunta.

Se establecieron cuatro categorías de respuestas: 1) "nunca" si no se utilizó o si la última vez que se utilizó ocurrió hace más de tres meses; 2) "rara vez" si se utilizó una vez en los últimos tres meses; 3) "algunas veces" si se utilizó entre dos y tres veces al mes en los últimos tres meses; y 4) "frecuente" si se utilizó al menos una vez por semana en los últimos tres meses. Para algunas estimaciones, estas cuatro categorías se colapsaron en dos: 1) "no exposición" equivalente a la categoría "nunca" y 2) "exposición presente" si utilizó LBVPb durante los

tres meses previos a la entrevista independientemente de la frecuencia de uso (categorías 2, 3 y 4).

II. Exposición ambiental: El objetivo de esta sección fue identificar FEPb ambiental, de las cuales se ha documentado en la bibliografía que producen o contienen partículas de Pb que pueden ingresar al organismo por inhalación, ingesta o contacto dérmico⁴ y su presencia en México, tales como:

- Presencia de FEPb cercanas al hogar (<5km) como minas, sitios de fabricación o reciclaje de baterías; talleres mecánicos o de pintura (automotriz o carpintería), de alfarería de barro vidriado o fundidoras de metales.
- Reporte de tubería de Pb en el hogar.
- Uso de óxido de Pb como remedio casero (azarcón, greta o litargirio).
- Actividades del infante en áreas públicas de juegos como parques o escuelas que pudieran estar pintados con pintura con Pb.

III. Exposición paraocupacional. Identificar la presencia de miembros del hogar cuyo trabajo los exponga a partículas de Pb y que puedan ser el vehículo para transportarlas al hogar.⁴ El cuestionario consideró los siguientes oficios documentados en la literatura en México: producción de alfarería de barro vidriado con plomo, soldaduría, herrería, pintura, reciclaje de baterías y de aparatos electrónicos o eléctricos, minería, fundición de metales, imprenta; producción de vidrio soplado, vitrales y joyería con Pb.

A diferencia de estudios anteriores en donde el comportamiento de PbS se analizó en forma categórica,^{1,2,10} en este trabajo se decidió hacerlo en forma continua para tener mayor sensibilidad en los análisis. Para las mediciones "no detectables" (<3.3 $\mu\text{g/dL}$) se definió una estrategia de imputación que considerara el comportamiento de las colas de distribuciones probabilísticas continuas que asignen menor probabilidad a los valores cercanos a "0" y mayores a los valores cercanos al límite de detección, y cuyo gradiente sea acorde con la distribución observada a partir del valor "3.3". Con todas estas consideraciones, se utilizó una distribución Beta (1,5), la cual genera un valor entre "0" y "1" y, posteriormente, este valor se multiplicó por "3.3". Para las mediciones de $\text{PbS} > 65.0 \mu\text{g/dL}$ se usó el límite máximo de detección ("65.0 $\mu\text{g/dL}$ ") como valor de imputación, ya que no se cuenta con información que permita definir una estrategia similar a la del extremo inferior.

Para comparar la frecuencia del uso de LBVPb en las tres encuestas nacionales en las que se ha incluido este biomarcador (Ensanut 100K, Ensanut 2018-19 y Ensanut

2022),^{1,2,10} se usaron los datos de esta variable en las encuestas previas y se realizó un análisis descriptivo simple.

Para el análisis estadístico se estimaron prevalencias de intoxicación para variables sociodemográficas y FEPb, ajustadas por el diseño muestral. Se estimaron las medias geométricas de la concentración de PbS (considerando los valores imputados) asociadas con cada una de las FEPb y se evaluó su distribución. Se utilizaron modelos de regresión ajustados por el diseño muestral y se aplicó la descomposición del coeficiente de determinación según el enfoque de Shapley-Owen para evaluar la contribución de cada fuente de exposición sobre la concentración de log(PbS).¹¹ El ajuste del modelo se hizo de forma global y estratificada por región. Los análisis se realizaron utilizando Stata 14.

A todos los participantes se les entregó un folleto informativo sobre FEPb, efectos adversos, recomendaciones para evitar la exposición y recetas de cocina que promueven la ingesta de alimentos ricos en nutrientes que inhiben su absorción (calcio, zinc y hierro). El proyecto fue aprobado por los Comités de Investigación, Ética y Bioseguridad del Instituto Nacional de Salud Pública. Se obtuvo el consentimiento informado por escrito de las madres o responsables de los menores tras una explicación detallada de los objetivos y procedimientos del estudio.

Resultados

La población de estudio consistió en 1 158 menores de 1 a 4 años de edad que representan 8.4 millones de niños y niñas residentes en el país (cuadro I). A nivel región, el número total de menores representados fue Pacífico-Norte, 744 402; Frontera-Norte, 1 100 610; Pacífico-Centro, 969 535; Centro-Norte, 1 150 843; Centro, 788 481; CDMX/Edomex, 1 497 199; Pacífico-Sur, 1 196 927; y Península, 953 193.

La prevalencia nacional de intoxicación por Pb (≥ 5.0 $\mu\text{g}/\text{dL}$) fue 16.8% (IC95%: 13.6,20.5); las niñas presentan una prevalencia más elevada (no significativa) que los niños: 19.2% (IC95%: 14.5,24) vs. 14.3% (IC95%: 10.2,19.7). Respecto a las regiones geográficas, la región Pacífico-Sur presenta la prevalencia de intoxicación por Pb más alta del país (38.7%; IC95%: 27.4,51.4) seguida por la región Centro (30.8%; IC95%: 19.4,45.0).

El 14.6% (IC95%: 11.1,18.9) de los hogares reportó usar frecuentemente LBVPb. Las FEPb ambiental a Pb más comunes, de acuerdo con el autorreporte, fue residencia cercana ($<5\text{km}$) a talleres mecánicos, de pintura y carpinterías (33.7%; IC95%: 29.8,37.9). El trabajo de un miembro del hogar en actividades relacionadas con la pintura fue la exposición paraocupacional más reportada: 9.6% (IC95%: 7.5,12.4). La mayor prevalencia de

intoxicación dentro de todas la FEPb ocurrió en el grupo que reportó usar LBVPb (41.3%; IC95%: 30.2,53.4). La prevalencia de intoxicación más elevada por proximidad a FEPb ocurrió en los hogares que viven cerca de algún sitio de fabricación o reciclaje de baterías (23.5%), seguido de la residencia cercana a talleres mecánicos o de pintura (18.2%) y fundidoras de metales (15.6%) (cuadro I).

No se muestran los resultados sobre la identificación de tubería de Pb en el hogar, uso de óxido de Pb como remedio casero (azarcón, greta o litargirio) ni sobre actividades del menor relacionadas con juegos cerca de baterías de auto (acumuladores) o en talleres domésticos de herrería, eléctricos, mecánicos o de alfarería, ya que la proporción de respuesta positiva fue muy baja en la muestra (4.5, 0.2 y 6.7%, respectivamente), por lo cual no hay elementos suficientes para identificar alguna tendencia o conclusión.

En la figura 1 se presenta de manera integrada el autorreporte de presencia de fuente de exposición (barras azules) y la prevalencia de intoxicación (barras rojas) asociada. Las FEPb que registraron un porcentaje de exposición menor a 2% no se muestran. Aquí se puede ver que si bien la fuente de exposición más reportada fue la residencia cercana a un taller mecánico, de pintura o carpintería (33.7%), la prevalencia de intoxicación fue 18.2% (IC95%: 12.6,25.7). Por otra parte, las exposiciones paraocupacionales se asocian con prevalencias muy elevadas de intoxicación, pero ocurren con considerable menor frecuencia. Finalmente, la fuente de exposición que combina una amplia ocurrencia con la prevalencia más elevada de intoxicación fue el uso de LBVPb.

La media geométrica nacional de la concentración de PbS estimada fue de 3.45 $\mu\text{g}/\text{dL}$ (IC95%: 3.29,3.62). En la figura 2 se muestra la media geométrica de PbS por categorías de frecuencia de uso de LBVPb que se obtuvo en la Ensanut 2022 (barras al extremo derecho de cada categoría), así como los valores que se registraron en el mismo indicador en la ronda previa de la encuesta (Ensanut 2018-19).¹ En 2022, la media para la población que no reportó haber usado LBVPb para el consumo de alimentos es de 3.1 $\mu\text{g}/\text{dL}$, mientras que para aquellos que reportaron uso frecuente el valor subió a 5.1 $\mu\text{g}/\text{dL}$. Como puede verse, no se presentó un cambio sustancial en el patrón de uso ni en la relación que existe con los niveles de plomo.

Para evaluar la contribución marginal de las FEPb (ambiental, paraocupacional y uso de LBVPb) sobre la variabilidad y concentraciones de PbS (transformadas logarítmicamente), se estimó un modelo de regresión ajustado por variables sociodemográficas (edad, sexo y condición de bienestar) y se aplicó la descomposición de Shapley-Owen al coeficiente de determinación (R^2) como indicador de la bondad de ajuste. El comporta-

Cuadro I
CARACTERÍSTICAS DE LOS MENORES Y HOGARES PARTICIPANTES. MÉXICO, ENSANUT 2022

	Nacional	Prevalencia de intoxicación (>5µg/dL) por Pb	Intervalo de confianza al 95%	p
Población representada	8 401 190	1 407 498 (16.8%)		
Sexo				
Hombre	50.2	14.3	10.2,19.7	0.19
Mujer	49.8	19.2	14.5,24.0	
Edad (años)				
1	19.8	13.0	8.3,19.6	0.26
2	27.2	20.3	14.0,28.5	
3	26.7	19.0	12.6,27.6	
4	26.3	13.7	9.3,19.7	
Índice de bienestar				
Muchas carencias	41.5	21.8	16.8,27.7	0.04
Carencias medias	30.9	14.3	9.8,20.3	
Pocas carencias	27.6	12.0	6.9,20.1	
Regiones geográficas*				
Pacífico-Norte	8.9	4.2	1.4,11.6	0.00
Frontera-Norte	13.1	11.1	6.7,17.8	
Pacífico-Centro	11.5	2.5	0.5,9.8	
Centro-Norte	13.7	8.2	4.9,13.3	
Centro	9.4	30.8	19.4,45.0	
Ciudad de México/Estado de México	17.8	26.6	15.9,41.1	
Pacífico-Sur	14.3	38.7	27.4,51.4	
Península	11.3	3.3	0.5,18.8	
Patrón de uso de barro vidriado				
Nunca	66.8	10.0	7.0,14.1	0.00
Rara vez	9.1	19.4	10.4,33.3	
Algunas veces	9.5	24.1	13.8,38.5	
Frecuente	14.6	41.3	30.2,53.4	
Proximidad (<5km) a fuentes de exposición ambientales				
Minas o jales/ relaves mineros	2.5	9.3	2.0,33.9	
Sitios de fabricación o reciclaje de cualquier tipo de baterías, incluyendo de auto (acumuladores)	5.8	23.5	10.9,43.5	
Taller de alfarería de barro vidriado	1.6	9.9	1.1,50.7	
Fundidoras de metales	1.7	15.6	4.1,44.5	
Talleres mecánicos o talleres de pintura (para auto o carpintería)	33.7	18.2	12.6,25.7	
Fuentes de exposición paraocupacionales				
Alfarería de barro vidriado	1.6	11.6	2.9,36.7	
Soldadora	7.7	15.5	7.5,29.4	

(continúa...)

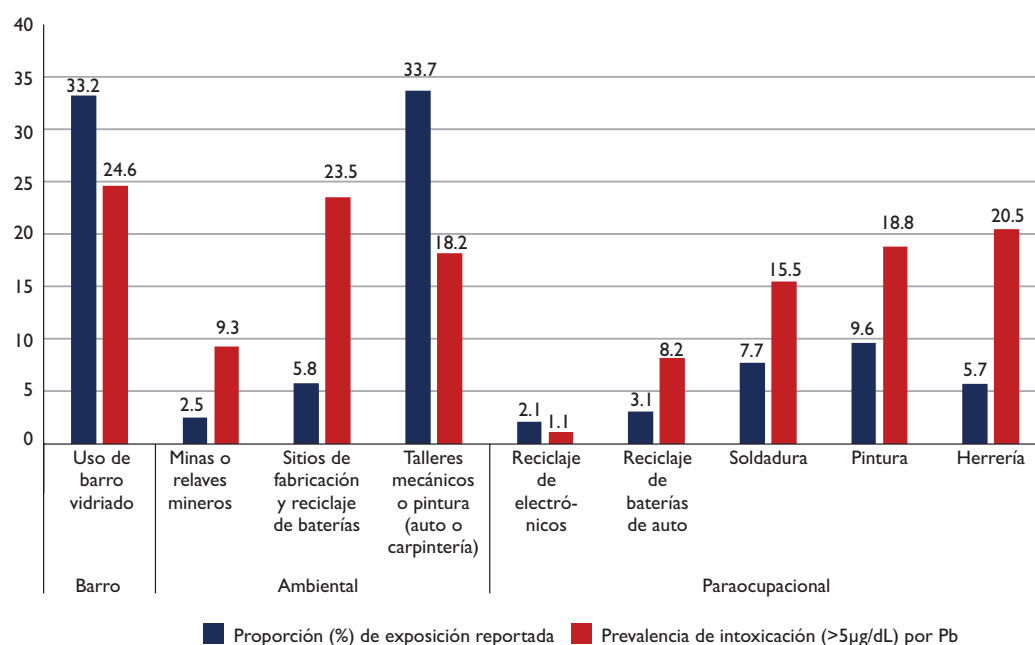
(continuación)

Herrería	5.7	20.5	9.1,39.9
Pintura	9.6	18.8	9.2,34.7
Reciclaje de baterías auto (acumuladores)	3.1	8.2	1.7,31.9
Reciclaje de aparatos electrónicos o eléctricos	2.1	1.1	0.1,8.3
Minería de metales	1.7	16.6	3.8,49.6
Fundición de metales	1.2	26.0	5.6,67.7
Imprenta	1.0	36.0	4.2,87.9
Elaboración de vidrio soplado, vitrales o emplomado o joyería	0.3	0.0	-----

Ensanut: Encuesta Nacional de Salud y Nutrición

* Regiones geográficas:

- 1 Pacífico-Norte: Baja California, Baja California Sur, Nayarit, Sinaloa y Sonora.
- 2 Frontera-Norte: Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas.
- 3 Pacífico-Centro: Colima, Jalisco y Michoacán.
- 4 Centro-Norte: Aguascalientes, Durango, Guanajuato, Querétaro, San Luis Potosí y Zacatecas.
- 5 Centro: Hidalgo, Tlaxcala y Veracruz.
- 6 Ciudad de México/Estado de México: Ciudad de México y Estado de México.
- 7 Pacífico-Sur: Guerrero, Morelos, Oaxaca y Puebla.
- 8 Península: Campeche, Chiapas, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán.



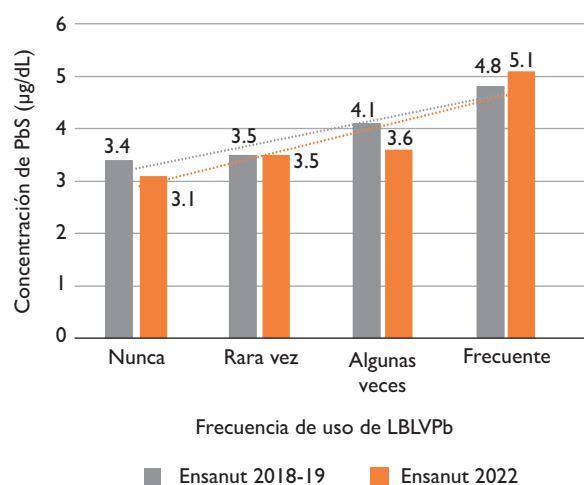
Ensanut: Encuesta Nacional de Salud y Nutrición.

FIGURA 1. PROPORCIÓN DE EXPOSICIÓN Y PREVALENCIA DE INTOXICACIÓN POR TIPO DE EXPOSICIÓN. MÉXICO, ENSANUT 2022

miento a nivel regional es heterogéneo por lo que esta evaluación se hizo tanto nacional como estratificado por región geográfica, de acuerdo con el diseño muestral.

En el cuadro II se presentan los resultados correspondientes al ajuste y a la descomposición de R^2 por región. El coeficiente e^β estima el cambio porcentual de la respuesta asociado con cada predictor. La con-

tribución marginal de cada predictor a la explicación de la prevalencia de intoxicación por Pb se expresa como el porcentaje con el que contribuye al coeficiente de determinación (R^2) del modelo. Estos porcentajes generan un orden sobre la importancia de los predictores para la descripción y entendimiento de la variable respuesta.



Ensanut: Encuesta Nacional de Salud y Nutrición; Pb: Plomo; LBLVPb: Loza de barro vidriada con plomo.

FIGURA 2. MEDIA GEOMÉTRICA DE Pb EN SANGRE (µg/dL) EN LA POBLACIÓN INFANTIL A PARTIR DE SU FRECUENCIA DE USO DE LOZA DE BARRO VIDRIADA CON PLOMO (LBLVPb). MÉXICO, ENSANUT 2018-19 Y 2022

Cuadro II
RESULTADOS DEL MODELO DE REGRESIÓN PARA LOG (Pb) Y PORCENTAJE DE CONTRIBUCIÓN POR PREDICTOR A R² A NIVEL NACIONAL. MÉXICO, ENSANUT 2022

R ²	Nacional	
	eb	% contribución a R ²
Uso de barro vidriado	1.28	87.3
Exposición ambiental	1.05	4.2
Exposición paraocupacional	1.04	1.3

El modelo está ajustado por edad, sexo y nivel de bienestar.
Ensanut: Encuesta Nacional de Salud y Nutrición.

A nivel nacional se estima que la contribución más importante para explicar la variabilidad y comportamiento de las concentraciones de PbS es el uso de LBLVPb, ya que representa 87.3% de la R² con un incremento asociado de 28% en los niveles de PbS. La contribución de las exposiciones ambientales y paraocupacionales son 4.2 y 1.3%, con incrementos asociados de 5 y 4%, respectivamente.

Al evaluar la correspondiente contribución a lo largo de las regiones (cuadro suplementario⁹), se confirma un patrón diferencial entre las mismas: en las regiones Pacífico-Sur, Frontera-Norte y Península la contribución más relevante fue el uso de LBLVPb con valores de 65.5,

54.3 y 39.4%, respectivamente. Por otro lado, la exposición ambiental representa la mayor contribución sobre los niveles de PbS en las regiones de CDMX/Edomex y Centro-Norte estimada en 73.5 y 64.7%, respectivamente. En el Pacífico-Centro la mayor contribución es la referente a la exposición ambiental con 12.4%, seguida del uso de LBLVPb con 12%. En la región Centro se identifica un porcentaje de contribución de la exposición paraocupacional superior al de uso de LBLVPb (39.1 vs. 21.7%). Finalmente, en el Pacífico-Norte la mayor contribución fue de 14.9% asociada con exposiciones paraocupacionales.

Cabe resaltar que la regionalización generada en el diseño de la encuesta es de naturaleza geográfica exclusivamente y que podría estar agrupando estados con diferentes patrones de uso de LBLVPb y tipo de exposición ambiental o paraocupacional, con la correspondiente diferencia en el comportamiento de PbS.

Discusión

La prevalencia nacional de intoxicación por Pb documentada en la Ensanut 2022 fue 16.8% (IC95%: 13.6,20.5), la cual es estadísticamente igual a la prevalencia estimada en la Ensanut 2018: 17.4% (IC95%: 14.99,20.14).² Este resultado no sorprende ya que no se ha implementado estrategia adicional alguna a las ya existentes orientada al control y prevención de la exposición a Pb en México.

Estos resultados confirman que el uso de LBLVPb es la principal fuente de exposición a Pb en la población general en el país, lo que contrasta con las FEPb ambiental y paraocupacional analizadas. El análisis de la frecuencia de uso de LBLVPb (figura 2) y de los niveles de PbS muestra una clara asociación positiva y consistente en las dos rondas de la encuesta: Ensanut 2022 y 2018-19 con representatividad a nivel nacional.

El análisis de la contribución marginal muestra que existe heterogeneidad entre regiones en términos de la contribución de las FEPb incluidas en este análisis: el uso de LBLVPb es la principal fuente de exposición en tres de las ocho regiones, con porcentajes de contribución que van desde 39.4% en la Península hasta 65.5% en Pacífico-Sur. En tres regiones la contribución más relevante es la exposición ambiental: CDMX/Edomex (73.5%) y Centro-Norte (64.7%) y Pacífico-Centro (12.4%); y en el Centro y en Pacífico-Norte, la exposición paraocupacional resulta la más relevante para explicar los niveles de PbS (39.1 y 14.9%, respectivamente). A diferencia de los resultados obtenidos en un artículo previo,¹⁰ en donde el interés fue estudiar la contribución de las diferentes FEPb sobre la prevalencia de intoxicación a Pb, en este artículo el interés se centró en estudiar la contribución sobre los niveles

de Pb (en su forma continua), con lo cual se generan dos enfoques de análisis diferentes, con objetivos y resultados diferentes.

La fuente de exposición ambiental más frecuentemente reportada fue vivir cerca de talleres mecánicos o de pintura con 33.7% de hogares con una prevalencia de intoxicación asociada de 18%. Esta prevalencia es similar a la correspondiente entre usuarios de LBVPb (16.8%), pero fue reportada en 33.2% de la muestra. Las fuentes paraocupacionales fueron reportadas con relativamente baja frecuencia, pero se asociaron con prevalencias de intoxicación muy elevadas.

Este estudio tiene limitaciones que deben reconocerse: 1) Los resultados no consideran comunidades o sitios específicos de alta exposición (*hot spots*) como, por ejemplo, la planta Met-Mex Peñoles en Torreón¹² o la planta recicladora de baterías en Monterrey,¹³ donde el riesgo de intoxicación es mayor que la población general; 2) Las secciones del cuestionario que indagan sobre exposición ambiental y paraocupacional se diseñaron con base en la literatura científica y se aplicaron por primera vez en esta encuesta sin un proceso formal de validación.

La prevalencia de intoxicación que no se asocia con ninguna de las FEPb analizadas en esta encuesta (6%) puede tener dos posibles orígenes: 1) la población no identifica estos sitios como posibles FEPb o 2) falta identificar otras FEPb que no fueron consideradas en este estudio como, por ejemplo, uso de maquillajes o consumo de alimentos contaminados, así como uso de LBVPb fuera del hogar. Dado que el instrumento buscó integrar todas las fuentes documentadas sin retos de especificidad (como pueden ser juguetes, dulces o maquillajes, de los cuales algunas marcas tienen plomo y otras no), se recomienda diseñar otras metodologías para identificar fuentes específicas de exposición en población general (por ejemplo, búsqueda intencionada con equipos portátiles de fluorescencia de rayos X [XRF]).

La Ensanut 2022 corresponde a una primera ronda de la Ensanut Continua en cuanto a la información de PbS, por lo que la muestra analítica aporta resultados parciales en comparación con la Ensanut 2018-19. Por el diseño de la Ensanut Continua, que recolecta información parcial cada año para completar una muestra completa con representatividad estatal en seis años,⁵ se espera que cuando se completen las rondas de años subsecuentes se obtenga un tamaño de muestra suficiente para poder generar resultados con representatividad estatal para este componente de exposición a Pb.

Los resultados de este estudio, así como de los de estudios previos, generan información suficiente para desarrollar una estrategia focalizada en las regiones y

estados más afectados por esta exposición. Asimismo, es relevante continuar con el monitoreo poblacional de los niveles de PbS en la población que se ha llevado a cabo desde 2018 a través de las Ensanut con el fin de vigilar las tendencias poblacionales a nivel estatal de este rezagado problema de salud pública.

En conclusión, los hallazgos de esta nueva ronda de recolección de información confirman la relevancia del uso de LBVPb como la principal fuente de intoxicación por Pb en población general infantil en México. La exposición a esta fuente es completamente prevenible y está documentado el costo-beneficio de implementar acciones de control y prevención de la exposición.¹⁴ Se requiere renovar el compromiso de autoridades de diferentes sectores y de actores relevantes para hacer realidad el PAAICEPM, lo que permitiría identificar oportunamente niñas y niños con niveles de intoxicación y darles la atención apropiada, así como prevenir este flagelo para las generaciones por venir.

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

Referencias

1. Téllez-Rojo MM, Bautista-Arredondo LF, Trejo-Valdivia B, Cantoral A, Estrada-Sánchez D, Kraiem R, et al. Reporte nacional de niveles de plomo en sangre y uso de barro vidriado en población infantil vulnerable. *Salud Publica Mex.* 2019;61(6):787-97. <https://doi.org/10.21149/10555>
2. Téllez-Rojo MM, Bautista-Arredondo LF, Trejo-Valdivia B, Tamayo-Ortiz M, Estrada-Sánchez D, Kraiem R, et al. Análisis de la distribución nacional de intoxicación por plomo en niños de 1 a 4 años. Implicaciones para la política pública en México. *Salud Publica Mex.* 2020;62(6):627-36. <https://doi.org/10.21149/11550>
3. Secretaría de Gobernación. Modificación de los numerales 3, 6.1, tabla I, así como los numerales I y I.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 16, 2023]. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5495551&fecha=30/08/2017#gsc.tab=0
4. Al Osman M, Yang F, Massey IY. Exposure routes and health effects of heavy metals on children. *Biometals Int J Role Met Ions Biol Biochem Med.* 2019;32(4):563-73. <https://doi.org/10.1007/s10534-019-00193-5>
5. Romero-Martínez M, Barrientos-Gutiérrez T, Cuevas-Nasu L, Bautista-Arredondo S, Colchero MA, Gaona-Pineda EB, et al. Metodología de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2022 y Planeación y diseño de la Ensanut Continua 2020-2024. *Salud Publica Mex.* 2022;64(5):522-9. <https://doi.org/10.21149/14186>
6. Shamah-Levy T, Vielma-Orozco E, Heredia-Hernández O, Romero-Martínez M, Mojica-Cuevas J, Cuevas-Nasu L, et al. Encuesta Nacional de Salud y nutrición 2018-19: Resultados Nacionales. México: INSP, 2020 [citado febrero 16, 2023]. Disponible en: <https://www.insp.mx/produccion-editorial/novedades-editoriales/ensanut-2018-nacionales>
7. Stefanak MA, Bourguet CC, Benzies-Styka T. Use of the Centers for Disease Control and Prevention childhood lead poisoning risk questionnaire

- to predict blood lead elevations in pregnant women. *Obstet Gynecol.* 1996;87(2):209-12. [https://doi.org/10.1016/0029-7844\(95\)00397-5](https://doi.org/10.1016/0029-7844(95)00397-5)
8. Centers for Disease Control and Prevention. CDC updates blood lead reference value to 3.5 µg/dL. Atlanta: CDC, 2022 [citado febrero 16, 2023]. Disponible en: <https://www.cdc.gov/nceh/lead/news/cdc-updates-blood-lead-reference-value.html>
9. Trejo-Valdivia B, Lerma-Treviño C, Tamayo-Ortiz M, Cantoral A, Figueroa JL, Romero-Martínez M, et al. Material suplementario. *Figshare*, 2023 [citado febrero 16, 2023]. Disponible en: https://figshare.com/articles/figure/_b_Cuadro_suplementario_b_Resultados_del_modelo_de_regresi_n_para_log_Pb_y_porcentaje_de_contribuci_n_por_predictor_a_R_sup_2_sup_estratificado_por_regi_n_ENSANUT_2022_M_xico_/24403171/3
10. Bautista-Arredondo LF, Trejo-Valdivia B, Estrada-Sánchez D, Tamayo-Ortiz M, Cantoral A, Figueroa JL, et al. Intoxicación infantil por plomo en México: otras fuentes de exposición más allá del barro vidriado (Ensanut 2022). *Salud Publica Mex.* 2023;65(supl 1):s197-s203. <https://doi.org/10.21149/14798>
11. Huettner F, Sunder M. Axiomatic arguments for decomposing goodness of fit according to Shapley and Owen values. *Electron J Stat.* 2012;6:1239-50. <https://doi.org/10.1214/12-EJS710>
12. 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>
13. Urrutia-Goyes R, Argyraki A, Ornelas-Soto N. Characterization of soil contamination by lead around a former battery factory by applying an analytical hybrid method. *Environ Monit Assess.* 2018;190(7). <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6820-2>
14. Gould E. Childhood lead poisoning: Conservative estimates of the social and economic benefits of lead hazard control. *Environ Health Perspect.* 2009;117(7):1162-7. <https://doi.org/10.1289/ehp.0800408>