Una década de monitoreo de plomo en sangre en niños escolares del área metropolitana de Monterrey, NL

Jesús Santos-Guzmán, MD, PhD,[1] Claudia Madrigal-Ávila, MD,[1] José Ascención Hernández- Hernández, PhD,[1] Gerardo Mejía-Velázquez, PhD,[2] Irma Elisa Eraña-Rojas, MD,[1] Leticia Elizondo-Montemayor, MD,[1] Luis Villela, MD.[1]

Santos-Guzmán J, Madrigal-Ávila C, Hernández-Hernández JA, Mejía-Velázquez G, Eraña-Rojas IE, a Elizondo-Montemayor L, Villela L. Una década de monitoreo de plomo en sangre en niños escolares del área metropolitana de Monterrey, NL. Salud Publica Mex 2014;56:592-602.

Resumen

Objetivo. Establecer las concentraciones de plomo (Pb) en sangre en niños escolares de 1998 y 2008, así como su asociación con factores de riesgo. **Material y métodos**. Se llevó a cabo un monitoreo de Pb en sangre de niños de entre 6 y 12 años que cursan educación primaria en 17 escuelas diferentes, ubicadas en distintas zonas del área metropolitana de Monterrey, de 1998 a 2008. **Resultados**. Se obtuvieron niveles séricos de 9.6 ± 3.0 (µg/dL rango de 3.18 a 20.88) en 1998 y de 4.5±4.8 µg/dL (rango de 3.3 a 53.7) en 2008, lo que mostró una disminución de 2.1 veces en nivel de Pb (p<0.01). **Conclusiones**. La reducción de los niveles séricos de Pb demuestran los mejores controles ambientales e industriales y probablemente el éxito de retirar el Pb de la gasolina durante los años noventa.

Palabras clave: plomo; monitoreo del ambiente; estudiantes; México

Santos-Guzmán J, Madrigal-Ávila C, Hernández-Hernández JA, Mejía-Velázquez G, Eraña-Rojas IE, a Elizondo-Montemayor L, Villela L. A decade of lead monitoring in schoolchildren in the metropolitan area of Monterrey NL, Mexico. Salud Publica Mex 2014;56:592-602.

Abstract

Objective. To establish the blood lead concentration and associated risk factors in schoolchildren during 1998 and 2008. **Materials and methods**. A blood lead screening was conducted in schoolchildren of 6-12 years of age, enrolled in 17 elementary schools of the metropolitan area of Monterrey, México, during 1998 and 2008. **Results**. The mean blood lead level were 9.6 ± 3.0 (µg/dL range of 3.18 to 20.88) in 1998 and 4.5±4.8 µg/dL (range of 3.3 to 53.7) showing a 2.1-times reduction in blood lead levels (p<0.01). **Conclusions**. This reduction in blood lead levels demonstrate environmental and industrial control improvements and the benefits of fading out the leaded gasoline during the 1990´s.

Key words: lead; environmental monitoring; students; Mexico

(1) Escuela de Medicina del Tecnológico de Monterrey, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM). Monterrey, Nuevo León, México.
(2) Centro de Calidad Ambiental, Campus Monterrey, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM). Monterrey, Nuevo León, México.

Fecha de recibido: 19 de noviembre de 2013 • **Fecha de aceptado**: 25 de septiembre de 2014
Autor de correspondencia: Dr. Jesús Santos Guzmán. Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud, Tecnológico de Monterrey. Av. Morones Prieto 3000, Pte. col. Los Doctores, Monterrey, Nuevo León, México.
Correo electrónico: jsg@itesm.mx

La exposición crónica al plomo (Pb) continúa siendo un problema de salud pública en México, ya que este elemento se utiliza en productos tan comunes y diversos como los pigmentos de las pinturas, los contenedores hechos de vidrio para alimentos e, incluso, en la alfarería o como aditivo a la gasolina.[1]

A partir del año 2002, en México se estableció el nivel máximo aceptable de Pb en sangre para la población que no tiene exposición ocupacional, el cual se determinó en la Norma Oficial Mexicana NOM-199-SSA1-2000. Se considera como valor máximo aceptable una concentración de 10 μg/dl; los niveles menores a esta cifra no requieren seguimiento. Es reconocida la gran actividad industrial de Monterrey y su área conurbada, sin embargo, no existe suficiente evidencia de cómo ha impactado la implementación de la norma mencionada en los niveles plasmáticos de plomo de la población de la zona.

Los objetivos de este trabajo fueron: determinar los niveles de Pb en la población del municipio de San Pedro Garza García en 1998, establecer factores de riesgo poblacional para la intoxicación de plomo en varios municipios del área metropolitana de Monterrey durante 2008 y comparar los niveles promedio relativos de dos poblaciones del área metropolitana de Monterrey en dos periodos de tiempo, 1998 y 2008 (pre y post NOM-199), así como las características y factores de riesgo asociados.

Material y métodos

Los estudios fueron de tipo transversal, prospectivo y descriptivo con un corte en 1998 (estudio 1) y el segundo en 2008 (estudio 2). Ambos estudios se realizaron en niños de 6 a 12 años, que asistían a escuelas primarias públicas* en el área metropolitana de Monterrey. Las escuelas primarias fueron seleccionadas por conveniencia, y en cada una los niños fueron seleccionados de manera aleatoria y manteniendo una proporción similar en cada grado escolar. En el estudio 1 se tomaron muestras de entre tres y cinco estudiantes de cada año escolar por escuela y en el estudio 2 se tomaron muestras de entre siete y trece estudiantes, también por año escolar y por escuela. Los estudiantes se seleccionaron al azar de entre los primeros que asistieron el día de la toma de muestras, después de haber recibido una plática informativa acerca del plomo en los niños y de haber llenado el consentimiento informado. La tasa de respuesta fue de 100% en cada grupo. Los padres o tutores de los participantes en ambos estudios firmaron una carta de consentimiento para que sus hijos fueran incluidos. El protocolo fue aprobado por el Comité de Ética e Investigación de la Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud, del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), y por la Dirección de Enseñanza e Investigación en Salud y Calidad (No. 195108019). El trabajo de campo lo llevó a cabo personal que recibió capacitación específica para la aplicación de cuestionarios, toma de muestras y otras mediciones.

La variable de respuesta o dependiente fue el nivel de plomo. Las variables independientes fueron género, edad, año escolar, escuela, cercanía de la industria, peso, talla, índice de masa corporal (IMC), anemia y obesidad. Las variables descriptivas fueron datos académicos como escolaridad de la madre, escolaridad del padre, año reprobado y promedio de calificaciones escolares del niño. También se tomaron en cuenta datos de la vivienda de los niños como: la existencia de fuente de agua potable, tanque de agua (tinaco), agua hervida, agua de la llave, botes de agua; tipo de pared de la casa y estado de la pintura de la misma; uso de vasijas de cerámica para cocinar; consumo de tortillas y latas de chiles o jugos y otras acerca de la costumbre de hervir el agua para cocinar.

Estudio 1

El estudio 1 se realizó en 1998, con una muestra de 203 niños de entre 6 y 12 años, sin distinción de género, que cursaban educación primaria en escuelas de un municipio del área conurbada de Monterrey, Nuevo León (cuadro 1). El objetivo de este estudio fue determinar los niveles de plomo en sangre en la población de ambos sexos. Se solicitó la colaboración de 17 escuelas primarias del municipio de San Pedro Garza García, de las cuales sólo nueve accedieron (ocho públicas y una privada) a participar en el estudio; éstas representaron diferentes localizaciones con respecto a fuentes de exposición (figura 1). Los niños fueron seleccionados de manera aleatoria, en cada grado escolar. Los criterios de inclusión fueron tener entre 6 y 12 años, ser de los primeros 3 a 5 niños de cada año y de cada escuela en llegar a clases el día del estudio y estar acompañados por algún familiar (mayor de edad) con su respectivo consentimiento informado. Se aplicó un cuestionario de factores de riesgo a los padres y a los niños y se les realizaron medidas antropométricas como peso, talla, y muestras de sangre venosa para la determinación de Pb, hemoglobina y hematocrito. La determinación de Pb en sangre total se realizó de acuerdo con el método analítico reportado por Selander y Cramér en 1968[2] en el laboratorio de Centro de Investigación Biomédica del Noreste, por espectrofotometría de absorción atómica (Perkin-Elmer, modelo 5 000, por el método de Hessel);

* Sólo una escuela del estudio 1 fue privada; el resto fueron escuelas públicas

Cuadro I
Características sociodemográficas de niños de 6 a 12 años de los estudios 1 y 2 sobre plomo en sangre. Monterrey, Nuevo León, México, 1998-2008

	1998		*2008*	
	Frecuencia	*%*	*Frecuencia*	*%*
Sexo				
Mujeres	90	55.7	583	100
Hombres	113	44.3	-	-
	203		583	
Edad				
De 6 a 8	77	37.9	259	44.4
De 9 a 10	74	36.5	177	30.4
De 11 a 12	52	25.61	147	25.2
	203		583	
Grado escolar				
1	33	16.26	110	18.93
2	35	17.24	113	19.45
3	34	16.75	105	18.07
4	35	17.24	84	14.46
5	34	16.75	77	13.25
6	32	15.76	92	15.83
	203		581	
Cercanía de la casa de industria				
No	87	48.07	374	65.5
Sí	94	51.93	197	34.5
Obesidad				
No	176	86.7	484	83.02
Sí	27	13.3	99	16.98
Anemia				
No	194	95.57	538	94.39
Sí	9	4.43	32	5.61

la determinación de hemoglobina y hematocrito se realizó con un espectrofotómetro Coleman-Jr. II siguiendo la técnica estándar.

Estudio 2

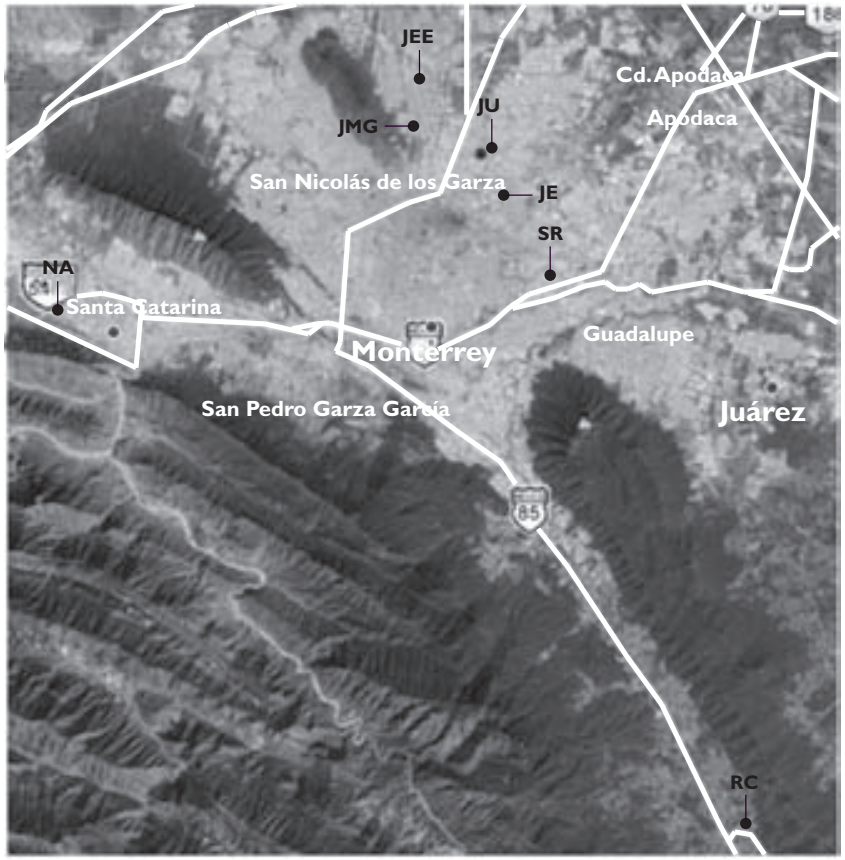
El estudio 2 se realizó en 2008 en escuelas primarias localizadas en el área metropolitana de Monterrey (cuadro I). El objetivo de este estudio fue determinar los factores de riesgo de intoxicación y tendencia poblacional del plomo en la población escolar. Se seleccionaron niñas por considerarlas una población que tiene menos variabilidad en los niveles de plomo y niveles más bajos, comparados con los de los hombres, pero con el potencial de tener efectos endocrinológicos y reproductivos futuros. Se obtuvo una muestra de ocho escuelas localizadas en diferentes municipios del área metropolitana de Monterrey, que representaron diferentes localizaciones con respecto a fuentes de exposición (figura 1). Se aplicó un cuestionario de factores socioeconómicos y culturales a los padres y a los niños se les realizaron medidas antropométricas de peso y talla, y muestras de sangre venosa para la determinación de Pb, hemoglobina y hematocrito. Se eligió la medición de plomo en plasma por considerar que representa mejor el fenómeno de intoxicación y movilización del plomo en los compartimientos corporales. Ésta se realizó en el Laboratorio Carpemor, de referencia internacional, de acuerdo con el método analítico validado en el laboratorio utilizando espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito. La determinación de hemoglobina y hematocrito se realizó con un espectrofotómetro Coleman-Jr. II siguiendo la técnica indicada por la NOM.

Esta medición se basó en lo reportado por Cavalleri,[3] quien determinó los niveles de plomo en varios compartimientos corporales. Para la medición de plomo en plasma se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer con lámpara catódica para plomo (lead hollow cathode lamp), equipada con un horno de grafito HGA-74, y demostró que el método tenía una sensibilidad de 0.2Ug/100ml, que era preciso y específico. La correlación de los niveles plasmáticos y los de sangre total, calculada con el coeficiente de determinación (R-Squared) que corresponde a la proporción de varianza en la variable dependiente y que puede ser explicada por la variable independiente, fue de 0.65-0.72 (la correlación más alta fue obtenida al ajustar para hematocrito). El porcentaje de recuperación del plomo fue de 85.5- 91.0%. Se estableció que las concentraciones de plomo en plasma y las de sangre total se mantienen constantes y los niveles de plasma representan entre 2.3 y 3.3% de los valores en sangre total. Para el presente estudio se tomó el valor medio de 3% para extrapolar los niveles de plomo en plasma a su equivalente de plomo en sangre total.

Análisis estadístico

Para los grupos de edad, año escolar y variables académicas de vivienda de los niños que tenían dos o más grupos de comparación, se utilizó la prueba de Anova. La prueba de *t* de Student se utilizó para comparar las medias de dos grupos con una hipótesis nula (Ho): $\mu 1 = \mu 2$ y una hipótesis alternativa (H1), de lo que resulta que los grupos tienen una media distinta. La prueba de Anova se utilizó para la comparación de las variables que tenían más de dos grupos con una hipótesis nula (Ho): $\mu 1 = \mu 2 = \ldots = \mu k$ y una hipótesis alternativa (H1): al menos uno de los grupos tiene una media distinta del resto del grupo. Las comparaciones fueron consideradas significativas si $p<0.05$. Se utilizó el programa

Estudio 1 (1998). Nombre de escuelas, municipio, número de alumnos y proximidad a fuentes de exposición. Escuelas que tienen cercanía a carretera de alto flujo vehicular de automóviles, camiones y trenes: [BJ]=Escuela Lic. Benito Juárez, San Pedro, GG (17 alumnos); [FGB]=Escuela Francisco González Bocanegra, San Pedro, GG (13 alumnos). Escuelas que están cerca de avenidas transitadas con flujo vehicular moderado: [CU]=Escuela Cuauhtémoc, San Pedro, GG (25 alumnos); [JMM]=Escuela Juan M. Montemayor, San Pedro, GG (25 alumnos) y [LE]=Escuela Luis Elizondo, San Pedro, GG (25 alumnos). Escuelas sin cercanía a la industria ni a calles de alto aforo vehicular: [CEG]=Centro Escolar Gante, San Pedro, GG (30 alumnos); [IZ]=Escuela Centenaria Gral. Ignacio Zaragoza, San Pedro, GG (23 alumnos) y [MH]=Escuela Miguel Hidalgo, San Pedro, GG (20 alumnos). La escuela [RFM]=Escuela Ricardo Flores Magón, San Pedro GG (25 alumnos) tiene cercanía a industria de pinturas y de cemento.



Estudio 2 (2008). Nombre de escuelas, municipio, número de alumnos y proximidad a fuentes de exposición. Escuelas que tienen cercanía a carretera de alto flujo vehicular de automóviles, camiones y trenes: [JE]=Escuela Primaria Juan Escutia, Monterrey (78 alumnas) y [JEE]=Escuela Primaria Juan Escutia, Escobedo (79 alumnas), [JU]= Escuela Primaria Jesús Urueta, San Nicolás de los Garza (45 alumnas), y [NA]=Escuela Primaria Nicomedes Acosta, Sta. Catarina (68 alumnas). Escuelas que están cerca de avenidas con flujo vehicular moderado: [SR]=Escuela Primaria Santiago Roel, Guadalupe (121 alumnas), [JMG]=Escuela Primaria J. Merced Garza, Monterrey (62 alumnas) y [JE]=Escuela Primaria Juan Escutia, Monterrey (78 alumnas). Escuela sin cercanía a la industria ni a calles de alto aforo vehicular: [RC]=Escuela Primaria Rogelio Cepeda, Santiago, (41 alumnas).

Figura 1. Distribución geográfica de las escuelas del estudio. Monterrey, Nuevo León, México

de estadística STATA 10 (STATA Corp., College Station, TX) (cuadro IV). En el estudio 1, los resultados de plomo transformados al logaritmo natural tuvieron una distribución normal, por lo que se estudiaron con la prueba de *t* de Student que se utilizó para comparar las medias de dos grupos con una hipótesis nula (Ho): $\mu 1 = \mu 2$ y una hipótesis alternativa (H1), de lo que resulta que los grupos tienen una media distinta. La prueba de Anova se utilizó para la comparación de las variables que tenían más de dos grupos con una hipótesis nula (Ho): $\mu 1 = \mu 2 = \ldots = \mu k$ y una hipótesis alternativa (H1): al menos uno de los grupos tiene una media distinta del resto de grupo. Las comparaciones fueron consideradas significativas si $p<0.05$. En el estudio 2, los resultados de plomo no tuvieron una distribución normal, aun con varias transformaciones, probablemente debido a que muchos de los valores fueron menores al límite de detección del método seleccionado y, por lo tanto, se les asignó un valor estimativo similar. Debido a esa circunstancia, en el cuadro IV se estudiaron las comparaciones de las variables con los análisis de Kruskal-Wallis equality-of-populations rank test y de Test for trend across ordered groups, presentando valores de *p* similares (sólo incluyeron los valores de la prueba de Kruskal-wallis en el cuadro IV). Se utilizó el programa de estadística STATA 10 (STATA Corp., College Station, TX).

Resultados

Estudio 1

La población estudiada en 1998 se conformó por 203 niños con una razón mujer: hombre de 1.26. Las edades de los participantes se distribuyeron de la siguiente manera: un tercio en cada grupo de edad (6-8.9, 9-10.9 y 11-12 años) con ligero predominio del grupo de 6-8.9 años (37.9, 36.5 y 25.6%, respectivamente) (cuadro I).

Más de la mitad refirió cercanía de la propia casa (1-3 km) respecto de la ubicación de alguna industria. Se determinó que 13% de los niños presentaba obesidad y sólo 4% presentó anemia (hematocrito menor de 12μg/dL) (cuadro I). La media aritmética de Pb en sangre total fue 9.6 ± 3.0 μg/dL (IC95% [9.13-9.98]) con valor mínimo de 3.2 μg/dL y máximo de 20.9 μg/dL. No hubo diferencias significativas por género, media de 9.6 ± 2.3 μg/dL (IC95% [3.9-16.6]) (n=113) y niños 9.6 ± 3.2 μg/dL (IC95% [8.40-9.70]) (n=90) (p= 0.9703). El análisis de las características de los progenitores mostró que 51% de las madres de los encuestados tuvo escolaridad máxima de secundaria, 20% ostentó estudios técnicos o de preparatoria y 8% universitarios; el resto no reportó escolaridad o no contestó. Los niveles de Pb en sangre no se asociaron con la escolaridad de la madre (p=0.306). En cuanto a los padres, 39% tiene estudios a nivel de primaria y secundaria, 18% técnicos o de preparatoria, mientras que 19% tiene estudios universitarios. No se encontró relación de los niveles de Pb en sangre con la escolaridad del padre (p=0.738).

En cuanto al desempeño escolar, 93% tuvo promedio de calificación de 8 o más en todas las materias (en una escala de 0-10) y no hubo relación entre el nivel de Pb y el aprovechamiento escolar (p=0.816). El 7% de los niños reportó haber reprobado un año, factor que no se asoció con los niveles sanguíneos de Pb (10.04 μg/dL) respecto de los que no reprobaron año (9.45 μg/dL) (p=0.605).

En relación con posibles fuentes de exposición a Pb por consumo de agua domiciliaria, no se encontraron diferencias significativas en los niveles de este elemento según el uso de agua de tinaco, hervida (p=0.083) o de la llave (p=0.4033), pero sí se encontró diferencia en quienes consumían agua embotellada (16% de los que respondieron). El promedio de Pb en sangre en quienes tomaron agua no embotellada fue de 9.81 ±3.12 μg/dL y en quienes la tomaron, de 8.20 ±2.16 μg/dL (p=0.006). El consumo de latas de chiles o jugos ácidos, la ingesta de tortillas, tener paredes cubiertas con pintura y la condición de la misma, la cercanía entre el lugar de residencia y alguna industria y el uso doméstico de vasijas de cerámica para cocinar no se asociaron con el nivel de Pb en la sangre (cuadro II).

En cuanto a la sintomatología, 2% contestó haber tenido algún miembro de la familia con intoxicación por Pb (no se les pidió confirmación), pero no hubo asociación de este antecedente con el nivel de Pb de los niños (p=0.096); tampoco el antecedente de malformaciones congénitas (p=0.728) o el de abortos en los familiares cercanos del encuestado (p= 0.461) (cuadro III). Los que reportaron disminución del apetito tuvieron un nivel de plomo en sangre mayor que los que reportaron apetito normal (10.2 μg/dL y 9.2 μg/dL, respectivamente). La disminución de apetito se asoció con un incremento en el nivel promedio de Pb de 91%: de 9.2 μg/dL en quienes la presentaron y de 10.2 μg /dL en quienes no la presentaron (p=0.051) (cuadro III).

Estudio 2

La muestra incluida en 2008 fue de 583 niñas, pero 29 fueron excluidas por la mala calidad de las muestras y por no poderles medir el plomo en sangre. En total se estudiaron 554 niñas.

Las edades de los participantes se distribuyeron de la siguiente manera: aproximadamente un tercio en cada grupo de edad (6-8.9, 9-10.9 y 11-12 años) con ligero predominio del grupo de 6-8.9 años (44.4, 30.4 y

Cuadro II
Factores de riesgo de las casas de los niños y niñas del estudio I, sobre niveles de plomo en sangre. Monterrey, Nuevo León, México, 1998

Variables	*Frecuencia*	*Media (µg/dL)*	*DS*	*Mín*	*Máx*
Tanque de agua (tinaco)					
Sí	11	9.46	3.48	5.15	15.93
No	192	9.57	3.03	3.18	20.88
Agua hervida					
Sí	35	10.38	3.63	3.45	19.3
No	168	9.39	2.89	3.18	20.88
Agua de la llave					
Sí	140	9.68	2.94	3.18	20.88
No	63	9.29	3.27	3.45	19.3
Botes de agua					
Sí	32	8.2	2.16	3.96	12.1
No	171	9.81	3.12	3.18	20.88
Tipo de pared de casa					
Con pintura	153	9.69	3.18	3.18	20.88
Sin pintura	40	9.04	2.63	3.52	17.42
No contestó	10	9.71	2.41	6.86	15.1
Estado de pintura paredes					
Bueno	136	9.44	3.11	3.18	20.88
Malo	14	10.39	3.1	6.88	17.42
No contestó	53	9.65	2.87	3.52	15.93
Industria cercana					
Sí	94	9.4	2.79	3.52	16.6
No	87	9.5	3.23	3.18	20.88
No contestó	22	10.49	3.27	6.43	19.3
Vasijas de cerámica para cocinar					
Sí	95	9.38	2.77	3.96	15.94
No	92	9.94	3.31	3.45	20.88
No contestó	16	8.48	2.75	3.18	14
Uso de latas de chiles o jugos					
Sí	124	9.39	3.05	3.18	20.88
No	55	9.6	2.76	3.45	17.42
No contestó	24	10.33	3.56	5.25	19.3
Consumo de tortillas					
Sí	175	9.49	3.05	3.18	20.88
No	9	11.23	2.7	7.81	14.9
No contestó	19	9.43	3.04	3.52	14.38
Hierven agua para cocinar					
Sí	55	9.97	3.28	3.18	20.88
No	133	9.45	3.02	3.45	19.3
No contestó	15	9.06	2.25	6.43	14

25.2%, respectivamente). El 34.5% de los participantes refirió cercanía entre su casa y algún tipo de industria. Se determinó que 17% de los niños presentó obesidad y sólo 5.6% presentó anemia (hematocrito menor de 12µg/dL) (cuadro I).

El promedio y desviación estándar de Pb en sangre fue de 5.13 µg/dL ± 12.1 (IC95%, 4.1-6.14), con valor mínimo de 3.3 µg/dL y máximo de 243 µg/dL. Se detectaron dos valores extremos de 115 y 243 µg/dL. El promedio y desviación estándar del grupo de 552

Cuadro III

Antecedentes y sintomatología de niños y niñas de 6 a 12 años del estudio 1, sobre niveles de plomo en sangre. Monterrey, Nuevo León, México, 1998

Variables	*Frecuencia*	*Media (µg/dL)*	*DS*	*Mín*	*Máx*
Familiares con intoxicación por plomo					
No	180	9.48	3.05	3.18	20.88
Sí 4	9.17	1.81	6.5	10.34	
No contestó	19	10.44	3.14	6.43	19.3
Malformaciones congénitas					
No	179	9.49	3.02	3.18	20.88
Sí 6	9.06	3.22	5.86	14.9	
No contestó	18	10.39	3.26	6.43	19.3
Abortos en la familia					
No	163	9.46	3.03	3.18	20.88
Sí 20	9.99	3.15	5.9	16	
No contestó	20	9.93	3.12	6.43	19.3
Hiporexia					
No	130	9.21	2.9	3.18	20.88
Sí 57	10.15	3.18	3.45	17.42	
No contestó	16	10.29	3.4	6.43	19.3
Pobre coordinación motora					
No	173	9.36	2.88	3.18	20.88
Sí	18	10.17	3.81	5.25	17.42
No contestó	12	11.51	3.5	6.43	19.3
Antecedente de convulsiones					
No	182	9.45	3	3.18	20.88
Sí	3	9.06	3.32	5.25	11.33
No contestó	18	10.71	3.4	6.43	19.3
Hiperactividad					
No	152	9.55	3.03	3.45	20.88
Sí	43	9.46	3.2	3.18	19.3
No contestó	8	10.23	2.77	6.43	14
Problemas de lenguaje					
No	168	9.46	3.02	3.18	20.88
Sí	22	9.4	2.83	5.25	15.1
No contestó	13	11.08	3.52	6.43	19.3
Torpeza					
No	174	9.41	2.94	3.18	20.88
Sí	16	9.87	3.38	5.4	17.42
No contestó	13	11.19	3.64	6.43	19.3
Dolor de estómago					
No	128	9.54	3.06	3.18	20.88
Sí	62	9.29	2.75	3.45	15.94
No contestó	13	11.08	3.89	6.43	19.3
Fiebre					
No	169	9.53	3.04	3.18	20.88
Sí	17	8.86	2.58	5.34	13.76
No contestó	17	10.54	3.42	6.43	19.3
Enfermedades hepáticas					
No	181	9.44	3.01	3.18	20.88
Sí	2	10.55	0.08	10.49	10.6
No contestó	20	10.55	3.31	6.43	19.3
Irritabilidad					
No	150	9.66	2.91	3.45	20.88
Sí	38	8.83	3.55	3.18	19.3
No contestó	15	10.4	2.81	6.43	14.78
Insomnio					
No	166	9.43	2.99	3.18	20.88
Sí	23	9.41	2.92	5.4	15.94
No contestó	14	11.32	3.53	6.45	19.3
Si el niño(a) ha reprobado grado escolar					
No	171	9.45	3.01	3.18	20.88
Sí	13	10.04	3.88	5.25	19.3
Calificaciones del niño(a)*					
9 a 10	151	9.66	3.06	3.45	20.88
8 a 8.9	38	9.04	2.97	3.96	16.39
6 a 7.9	14	9.93	3.13	3.18	14.78

* Promedio de calificaciones escolares en el periodo del año en que fue contestada la encuesta, en escala de 1-10

Cuadro IV

Nivel de plomo en sangre asociada con género, escolaridad, exposición, anemia y obesidad de niños de 6 a 12 años. Monterrey, Nuevo León, México, 1998 y 2008

	1998					2008					
	Frecuencia	*Media geométrica (µg/dL)*	*Intervalo de confianza 95%*		*Comparación entre categorías*	*Frecuencia*	*Media geométrica (µg/dL)*	*IC95%*		*Comparación entre categorias*	*Comparación por año*
Sexo											
Mujer	113	9.15	8.64	9.68		554	3.84	3.69	4.00		*p*=<0.001
Hombre	90	9.03	8.40	9.70	*p*=0.8127						
Edad (años)											*p*=<0.001
6 a 8	77	8.89	8.29	9.53		241	4.08	3.79	4.40		
9 a 10	74	9.25	8.56	9.99		169	3.64	3.45	3.85		
11 a 12	52	9.17	8.36	10.06	*p*=0.5195	144	3.69	3.41	3.99		*p*=0.3070
Grado escolar											*p*=<0.001
1	33	9.70	8.59	10.96		100	4.52	3.91	5.21		
2	35	8.79	7.95	9.72		107	3.82	3.50	4.17		
3	34	8.42	7.70	9.22		101	3.61	3.39	3.84		
4	35	8.76	7.61	10.08		82	3.83	3.45	4.24		
5	34	9.80	8.93	10.75		73	3.49	3.25	3.75		
6	32	9.21	8.18	10.36	*p*=0.1934	91	3.76	3.37	4.20		*p*=0.0215
Cercanía a industria											*p*=<0.001
No	87	8.97	8.32	9.66		359	3.91	3.71	4.13		
Sí	94	9.00	8.47	9.57		193	3.68	3.46	3.91		
No contestaron	22	10.03	8.77	11.47	*p*=0.1949		2	10.11	6.67E-06	1.53E+07	*p*=0.3516
Anemia											*p*=<0.001
No	194	9.06	8.65	9.49		520	3.84	3.68	4.01		
Sí	9	9.75	8.38	11.35	*p*=0.4575	32	3.62	3.24	4.05		*p*=0.8194
Obesidad											*p*=<0.001
No	176	9.24	8.82	9.68		461	3.90	3.72	4.10		
Sí	27	8.20	7.10	9.46	*p*=0.3388	93	3.55	3.31	3.80		*p*=0.0603

Nota: para las comparaciones entre categorias y por año se utilizó Kruskal-Wallis equality-of-populations rank test

muestras sin los valores extremos fue de 4.5 μg/dL ± 4.8 (IC95%, 4.1-4.9), con valor mínimo de 3.3 μg/dL y máximo de 53.7 μg/dL. El 6.3% de los niños presenta concentraciones mayores a 10 μg/dL.

Estudio combinado (1998-2008) de Pb en sangre de niñas

El nivel de Pb se encontró 2.1 veces menor después de 10 años, al pasar de una concentración promedio de 9.57 μg/dL a 4.5 μg/dL (p<0.001).

Sin embargo, se localizaron más valores extremos en la población de 2008 que en la de 1998. En 2008, once casos presentaron niveles de 25 μg/dL o mayores; los valores extremos fueron de 53.7 μg/dL, 115.3 μg/dL y 243.0 μg/dL. En 1998 ninguno superó el nivel de 25 μg/dL; el valor máximo en aquel estudio fue de 20.9 μg/dL. Respecto al grado escolar, los de primero tuvieron niveles de Pb promedio similares (p=0.768); el resto de los grados escolares presentó valores menores en 2008, comparados con los reportados en 1998 (p<0.050) (cuadro IV).

Discusión

En el estudio 2 se midió plomo en plasma de niñas por las siguientes consideraciones teóricas: a) la medición de plomo en plasma representa mejor el fenómeno de acumulación crónica, así como el de acumulación reciente;[4-6] b) el grupo de niñas puede representar mejor el nivel poblacional más bajo y con menos variabilidad,[7-15] y c) la fracción de plomo en plasma representa mejor la liberación del plomo de los depósitos óseos que luego puede distribuirse a otros órganos blanco y puede reflejar mejor la acumulación del plomo en la persona, así como sus efectos tóxicos.[16] En el estudio 1 las muestras fueron medidas en sangre total puesto que se deseaba presentar un monitoreo poblacional de la presencia del material en sangre de niños aparentemente sanos. En el estudio 2 se midió el plomo en plasma sólo de niñas para representar mejor el riesgo de intoxicación y tendencias poblacionales. Debido a que muchas de las muestras estuvieron por debajo del límite de detección del aparato (0.02 ug/dL), se establece para ellas el valor estimativo de 0.1 ug/dL que pudiera representar el valor real, o un valor menor para propósitos de la comparación de los niveles de plomo de los estudios 1 y 2. Esto podría representar una sobreestimación del valor de plomo pero sin alterar el punto establecido en este estudio, donde se muestra una disminución de los niveles de este elemento en sangre de niños durante una década.

El muestreo no se hizo en los mismos lugares para ambos estudios, pero la distribución de las escuelas participantes y los factores de riesgo medioambientales como la cercanía de la industria y de vías vehiculares de alto, moderado o bajo flujo fueron similares en los dos grupos de estudio.

Por otro lado, las mujeres pueden representar el grupo poblacional con menor nivel de plomo, comparado con el de los hombres, y servir como referencia del nivel de exposición o de distribución bajo de la población. En un estudio realizado en niños escolares se observó que los niveles de plomo de los niños eran superiores a los de los niñas, lo que probablemente tenga que ver con los patrones diferenciales de actividad y de exposición; por lo tanto, las niñas pueden representar el valor mínimo de riesgo y tendencia poblacional.[14] En cuanto a la transpolación de los niveles de plomo en plasma y los de sangre total, estas mediciones, al ser graficadas, tienen una distribución a la derecha que podría requerir la transformación de la variable con el logaritmo de la misma. Skerfving y colaboradores[4] reportaron que cuando se graficaban los valores de plomo en sangre total contra el logaritmo de los valores de plomo en plasma se podía tener una pendiente rectilínea, con una correlación de 97%. Con base en esta información, en el estudio 2 de la presente investigación los resultados fueron evaluados con los niveles de plomo en plasma transpolados a su valor equivalente de plomo en sangre total. Para las comparaciones de los niveles de plomo con las demás variables, se tomó el resultado equivalente de plomo en sangre total y la variable transformada como logaritmo del nivel de plomo en sangre.

En el presente estudio se demuestra la reducción de 53.6% en los niveles de Pb en sangre de niñas de entre 6 y 12 años. Este evento resulta 10 años después de completar la fase de eliminación del Pb de la gasolina en la zona metropolitana de Monterrey.[17] Como posibles explicaciones de esta diferencia están la eliminación del plomo de la gasolina, además de mayores controles industriales y domésticos, y mejor cultura ambiental de la población. Éstos son ejemplos de las políticas ambientalistas en México que han contribuido a la reducción en la producción y uso de contaminantes. Sin embargo, continúa existiendo falta de monitoreo de sitios de alto riesgo.[18] En el estudio 1 no se encontró ningún niño con niveles de intoxicación mayores de 21 μg/dL, pero en el estudio 2 se encontraron tres niños con niveles de intoxicación significativos que requirieron tratamiento de descontaminación. Existen estudios en los que se ha visto una relación inversa entre los niveles de Pb en sangre y el nivel de educación de los padres. En el presente estudio no se observó tal relación, ni en los resultados del padre ni en los de la madre.[19] Podría ser necesario enfocar el estudio al tutor del niño, independientemente de si es el padre,

la madre o un tercero. Hay estudios que corroboran los efectos del Pb en el metabolismo del grupo hemo, y la relación entre los mayores niveles de exposición al Pb y el mayor riesgo de anemia, que se observa como bajos niveles de hemoglobina.[20] En el presente estudio no se observó esta asociación; quizá es necesario un análisis con un mayor número de pacientes, indagar en el cuestionario aplicado sobre los hábitos alimenticios y realizar la determinación y comparación de los niveles de Pb en niños cuyos hábitos alimenticios sean similares. Éste y otros estudios[21] muestran que ha habido importantes avances en el manejo de fuentes ambientales de Pb, pero que continúa habiendo falta de información respecto de los niveles de Pb en aire, polvo, tierra, agua y comida, así como un monitoreo de las concentraciones de Pb en población de alto riesgo. En el estudio 1 se encontró que quienes bebían regularmente agua embotellada tenían niveles de Pb menores que quienes bebían de otras fuentes de agua doméstica, por lo que se puede señalar al agua como posible fuente de Pb.

Aunque los escapes de los automóviles ya no emitan Pb, mucho del que se emitió durante 50 años (desde la década de los treinta hasta la de los noventa) se ha depositado en tierra, agua y aire, además de las otras fuentes de contaminación de Pb.

Limitaciones

El estudio 1 incluyó un cuestionario de factores de riesgo y el estudio 2 examinó otros de estos factores. Aun con un diseño diferente, en este estudio se valoran los datos de plomo medidos en las dos épocas. Se eligieron las escuelas que aceptaron participar en el estudio y que tuvieran cercanía con las diferentes fuentes de contaminación de los municipios. La selección de los individuos fue al azar y a partir de la recomendación de los directores de cada escuela o profesores de cada grupo. En el estudio 2 el grupo de niñas con edades de 6 a 8 años quedó sobrerrepresentado. Finalmente existe también un sesgo de estimación ya que algunos valores no pudieron ser medidos, por lo que tenían una concentración menor a 0.2ug/dl en plasma, y se decidió asignar el valor mínimo de 0.1ug/dl en plasma o su equivalente de 3.3 ug/dl en sangre total como valor estimativo subrogado, para la comparación de niveles de plomo de los dos estudios.

Conclusión

Los niveles de Pb en sangre disminuyeron a lo largo de 10 años debido al cambio en diferentes factores, donde la eliminación del Pb en la gasolina parece ser uno de los más importantes.

Agradecimientos

A Miguel Ángel Zúñiga Charles, del Centro de Investigaciones Biomédicas del Noreste, del Instituto Mexicano del Seguro Social, y al doctor Gerardo Antonio Morales Aguilera, profesor emérito del ITESM, por su valioso apoyo y activa participación en el proyecto.

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

Referencias

1. Norma Oficial Mexicana NOM-199-SSA1-2000, salud ambiental. Niveles de Pb en sangre y acciones como criterios para proteger la salud de la población expuesta no ocupacionalmente [documento en internet] [consultado el 27 de febrero, 2014]. Disponible en: http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/199ssa10.html
2. Stig S, Cramér K. Determination of Lead in Blood by Atomic Absorption Spectrophotometry. Br J Ind Med 1968;25(3):209-213.
3. Cavalleri A, Minoia C, Pozzoli L, Barfiini A. Determination of plasma lead level in normal subjectos and in lead exposed workers. Br J Ind Med 1978;35:21-26.
4. Skerfving S, Bergdahl IA, Schutz A, Gerhardsson L, Jensen A, Skerfving S. Lead concentrations in human plasma, urine and whole blood. Scand J Work Environ Health 1997;23(5):359-363.
5. Hu H, Rabinowitz M, Smith D. Bone lead as a biological marker in epidemiologic studies of chronic toxicity: conceptual paradigms. Environ Health Perspect 1998;106(1):1-8.
6. Jiménez-Gutiérrez C, Romieu I, Ramírez-Sánchez AL, Palazuelos-Rendón E, Muñoz-Quiles I. Exposición a plomo en niños de 6 a 12 años de edad. Salud Publica Mex 1999;41(sup 2):72-81.
7. López J. Intoxicación por plomo en niños menores de seis años en un asentamiento humano del Callao. Anales de la Facultad de Medicina. Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2000; vol. 61.
8. Yang T, Trong-Neng W, Shang-Wei H, Ching-Huang L, Kquei-Nu K, Saou-Hsing L. Blood lead levels of primary-school children in Penghu County, Taiwan: distribution and influencing factors. Arch Environ Occup Health 2002;75(8):528-534.
9. Jones RL1, Homa DM, Meyer PA, Brody DJ, Caldwell KL, Pirkle JL, Brown MJ. Trends in blood lead levels and blood lead testing among U.S. children aged 1 to 5 years: 1998-2004. Pediatrics 2009;123:e376-e85.
10. Gonzalez-Valdez E, González-Reyes E, Bedolla-Cedeño C, Arrollo-Ordaz EL, Manzanares-Acuña E. Niveles de plomo en sangre y factores de riesgo por envenenamiento de plomo en niños mexicanos. Rev Fac Ing Univ Antioquia 2008;(43):114-119.
11. Muntner P1, Menke A, DeSalvo KB, Rabito FA, Batuman V. Continued decline in blood lead levels among adults in the United States: the National Health and Nutrition Examination Surveys. Arch Intern Med 2005;165(18):2155-2161.
12. Sadaruddin A, Agha F, Khatoon N, Sultana K. Blood lead levels in young children in Chakshahzad, Islamabad. JPMA 1995;45:215.
13. Abbritti G1, Cicioni C, Gambelunghe M, Fiordi T, Accattoli MP, Morucci P, et al. Blood lead levels in children living in three communities, at different risks of lead pollution. Biomed Environ Sci 1988;1(4):363-371.

14. Emanuele S, Vargiu L, Rossetti I, Vallascas E, Giovanni F. Correlation between blood and hair lead levels in boys and girls of Sardinia (Italy). J Anthropol Sci 2007;85:173-181.
15. Trejo-Valdivia B, Solano-González M, Mercado-Garcia A, Smith D, Hu H, Wright RO. Association between the plasma/whole blood lead ratio and history of spontaneous abortion: a nested cross-sectional study. BMC Pregnancy Childbirth 2007;7:22.
16. Cake KM1, Bowins RJ, Vaillancourt C, Gordon CL, McNutt RH, Laporte R, et al. Partition of circulating lead between serum and red cells is different for niternal and external sources of exposure. Am J Ind Med 1996;29:440-445.
17. Rosas-Jaramillo JA, Rodríguez-Martínez N. Algunas razones para la eliminación del empleo de la gasolina con plomo [documento en internet]. Pemex Refinación [consultado el 27 de febrero de 2014]. Disponible en: http://www.ref.pemex.com/octanaje/elim16.htm
18. Trejo-Acevedo A, Díaz-Barriga F, Carrizales L, Domínguez G, Costilla R, Ize-Lema I, et al. Exposure assessment of persistent organic pollutants and metals in Mexican children. Chemosphere 2009;74:974-980.
19. Albalak R, McElroy RH, Noonan G, Buchanan S, Jones RL, Flanders WD, et al. Blood lead levels and risk factors for lead poisoning among children in a Mexican smelting community. Arch Environ Health 2003;58:172-183.
20. 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. Environmental Health 2011;10:66.
21. Flores J, Albert LA. Environmental lead in Mexico, 1990-2002. Rev Environ Contam Toxicol 2004;181:37-109.