

# Factores determinantes de plomo en sangre en niños de 7-8 años de la Comunidad de Madrid

J.M. Ordóñez Iriarte<sup>1</sup>, M.I. Aparicio Madre<sup>2</sup>, E. Aránguez Ruiz<sup>1</sup>, A. Rivero Cuadrado<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dirección General de Ordenación Sanitaria e Inspección. Consejería de Sanidad. Comunidad de Madrid.

<sup>2</sup>Dirección General de Hospitales. Servicio Madrileño de Salud (SERMAS). Consejería de Sanidad.

Comunidad de Madrid. <sup>3</sup>Unidad de Medicina Preventiva y Salud Pública. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad «Rey Juan Carlos». Madrid

## Resumen

**Fundamento:** El plomo es un metal pesado tóxico. La exposición al mismo se ha visto reducida por la prohibición de las gasolinas con plomo, y hoy en día son más relevantes otras fuentes, como el agua de bebida. El objeto de este estudio es determinar los niveles de plomo en sangre que presentan los niños de segundo curso de Educación Primaria que residen en la Comunidad de Madrid, y establecer la relación entre dichos niveles y la concentración de plomo en el agua de bebida que ingieren.

**Métodos:** Estudio transversal, para el que se seleccionaron 515 niños de 23 colegios públicos y/o concertados de la Comunidad de Madrid. Los niños de cada colegio eran trasladados en autobús a un centro hospitalario, donde se procedía a una extracción sanguínea y a una exploración clínica básica. Los padres rellenaban una encuesta autocumplimentada y recogían una muestra de agua del domicilio, siguiendo unas directrices determinadas. También se muestreó el agua del colegio.

**Resultados:** Los valores de plomo en sangre de los niños se situaron entre 1,0 y 11,5 µg/dL, con una media geométrica de 3,8 µg/L (con una desviación estándar de 0,1). Los niveles de plomo en sangre estuvieron asociados de forma significativa a la edad, a ciertos hábitos de oralidad, al sector de trabajo de los padres, al consumo de tabaco de las madres, a la ubicación geográfica y la antigüedad de las viviendas, y a la presencia de mascotas en el domicilio.

**Conclusiones:** La concentración de plomo en sangre en los niños de la Comunidad de Madrid presentó una media geométrica de 3,8 µg/dL, nivel que se sitúa por debajo de los 10 µg/dL definidos por los Centers for Diseases Control and Prevention. Dos niños tuvieron niveles de 11,5 µg/dL. Resulta significativa la relación existente entre el plomo en sangre, el consumo del agua de bebida y otras variables sociodemográficas.

## Palabras clave

Plomo en sangre, plomo en agua, factores socioeconómicos y ambientales ligados a la exposición al plomo

©2009 Ediciones Mayo, S.A. Todos los derechos reservados

## Abstract

**Title:** Determinant factors of blood lead levels in children of 7-8 years old in the Autonomous Community of Madrid, Spain

**Background:** Lead is a toxic heavy metal. Exposure to it has been reduced by the ban on leaded petrol and, now, other sources such as drinking water are more relevant. The aims of this study are to determine the blood lead levels of children in the second year of primary education living within the Autonomous Community of Madrid, and to establish the relationship between these levels and the lead concentration in the drinking water consumed by the children.

**Methods:** A cross-sectional study including 515 children selected from public primary schools and those private ones that received partial public funding in the Autonomous Community of Madrid. The children of each primary school were transferred by bus to a hospital, where blood collection and a basic clinical examination were carried out. Parents filled out a self-completion questionnaire and, following certain guidelines, collected a water sample from home. Water samples were also taken at each primary school.

**Results:** The values for the blood lead levels of the children ranged between 1.0 µg/dL and 11.5 µg/dL, with a geometric mean of 3.8 µg/dL (standard deviation: 0.1 µg/L). Blood lead levels were significantly associated with age, certain oral habits, business sector of the father, smoking by the mother, geographical location and age of the family residence, and the presence of certain pets.

**Conclusions:** The geometric mean of blood lead concentrations in children in the Autonomous Community of Madrid is 3.8 µg/dL, below that of 10 µg/dL defined by the Centers for Disease Control. Two children had levels of 11.5 µg/dL. The relationship between the blood lead level, consumption of drinking water and other socioeconomic factors is statistically significant.

## Keywords

Blood lead level, water lead level, environmental and socioeconomic factors linked to lead exposure

Fecha de recepción: 24/11/08. Fecha de aceptación: 2/12/08.

**Correspondencia:** J.M. Ordóñez Iriarte. Dirección General de Ordenación Sanitaria e Inspección. Consejería de Sanidad. Comunidad de Madrid. Julián Camarillo, 6 A, 3.ª planta. Correo electrónico: josemaria.ordonez@salud.madrid.org

Trabajo financiado por una beca FIS 93/908.

## Introducción

El plomo es un metal pesado cuyo uso se remonta a las primeras civilizaciones; de ahí que pronto fueran descritas las intoxicaciones derivadas por la exposición a este metal<sup>1</sup>. Los niveles ambientales de plomo han aumentado más de 1.000 veces durante los tres últimos siglos como resultado de la actividad humana<sup>2</sup>, tal como ha quedado recogido en registros naturales, como el agua de hielo de Groenlandia<sup>3</sup>. El mayor incremento se produjo entre los años 1950 y 2000 como consecuencia del uso de la gasolina con plomo<sup>2</sup>. Para el caso concreto de la Comunidad de Madrid, según datos del Ministerio de Medio Ambiente<sup>4</sup>, las toneladas vertidas al aire, tanto por la industria como por los vehículos, fueron de más de 300.000 kg en 1990, que se redujeron a menos de 20.000 kg en 2002, coincidiendo con la prohibición de las gasolinas con plomo, lo que inició un cambio importante en las cantidades emitidas al aire.

La población general está expuesta al plomo procedente de diferentes fuentes, entre las que se encuentran la contaminación del aire, el agua de abastecimiento, los alimentos, el tabaco, el polvo de las pinturas de las paredes, los recipientes de cerámica deficientemente barnizados y los suelos contaminados<sup>5-10</sup>.

El plomo, que carece de papel fisiológico en el hombre, se acumula natural y mayoritariamente en el hueso, que puede convertirse en fuente interna de contaminación. Desde los ya clásicos estudios de McMichael, Needelman, Landrigan y Bellinger<sup>11-14</sup>, se sabe que cualquier cantidad que sea absorbida por el organismo resulta nociva para la salud, con especial relevancia en los niños<sup>15-17</sup>. Entre los efectos negativos, los de mayor gravedad social son los producidos sobre el desarrollo del sistema nervioso central, que generarían retraso cognitivo e intelectual y alteraciones de la conducta, lo que, a su vez, provocaría hiperactividad y carácter violento en los niños<sup>18-20</sup>.

La importante constatación de los efectos del plomo en dosis cada vez más bajas provocó que los Centers for Disease Control and Prevention (CDC) fuesen reduciendo los niveles considerados como seguros desde los 60 µg/dL, contemplados en los años sesenta, a los 40 µg/dL en el año 1972, los 30 µg/dL en 1978, los 25 µg/dL en 1985 y, por último, a los 10 µg/dL en el año 1991<sup>16</sup>, cifra que actualmente se mantiene a pesar de estar cuestionada<sup>17,18</sup>.

En las conducciones de agua, el empleo de tuberías de plomo y/o las soldaduras realizadas con este metal facilitan su incorporación al agua de abastecimiento por corrosión, y puede superarse el valor guía de 10 µg/L establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para preservar la salud de la población infantil. No obstante, la normativa española antigua contemplaba la cifra de 50 µg/L, que se ha visto modificada en el año 2003 a 25 µg/L hasta el año 2013, fecha a partir de la cual se reducirá a 10 µg/L. El abastecimiento de agua en la Comunidad de Madrid es realizado mayoritariamente (más del 97% de la población) por la empresa pública Canal de Isabel II, y antes de la distribución no supera nunca el valor de 10 µg/L. Sin embargo, las redes de distribución interna de las casas y edificios pueden incrementar en gran medida dicha concentra-

ción, que es una potencial fuente de exposición al plomo con una gran repercusión para el segmento infantil.

El objeto de este estudio es determinar los niveles de plomo en sangre que presentan los niños de segundo curso de Educación Primaria que residen en la Comunidad de Madrid, y establecer la relación entre dichos niveles, la concentración de plomo en el agua de bebida que ingieren y otros factores sociodemográficos.

## Material y métodos

La metodología general de este estudio ya ha sido descrita previamente<sup>21</sup>. El tipo de estudio realizado tuvo el carácter de corte transversal, desarrollado entre los meses de marzo a diciembre de 1995. Se hace una reanálisis de los datos, con el objeto de identificar los factores determinantes de exposición infantil al plomo.

En la Comunidad de Madrid, en 1995, la población de 7 y 8 años de edad era de 103.377 niños de ambos sexos, que son, en su mayoría, los que integraban los cursos de segundo de Educación Primaria; de ellos, 48.975 (47,4%) vivían en la ciudad de Madrid, 43.492 (42,1%) en los municipios de la corona metropolitana de la Comunidad de Madrid y 10.910 (10,6%) en el resto de municipios. Estos niños recibían escolarización en un total de 1.345 colegios, que fueron utilizados para la selección de los centros escolares que participaban en el estudio. El tipo de muestreo planteado fue de conglomerados simples, seleccionando las aulas del nivel elegido.

A los colegios elegibles se les aplicaron diversas restricciones. Se limitó el estudio a los colegios con financiación pública: colegios públicos y concertados que estuvieran en municipios de más de 20.000 habitantes. Sobre estos colegios (1.012), se eligieron aleatoriamente 23 centros escolares (10 situados en la corona metropolitana y 13 en la ciudad de Madrid), y dos negaron su participación (uno público y uno concertado), que fueron sustituidos de la misma forma por otros similares. La última restricción fue descartar los colegios que estuvieran a menos de 3 km de otro colegio previamente elegido, a fin de evitar la agregación espacial de los mismos.

Miembros del equipo investigador explicaban las características del estudio a los padres en una asamblea informativa, con reparto de una encuesta de carácter autocumplimentado. Asimismo, se les entregaba un recipiente plástico estéril de 100 cm<sup>3</sup>, de los normalmente utilizados para la toma de muestras de orina, con una hoja de instrucciones para la recogida de agua del domicilio del niño, que incluían los siguientes pasos:

- No tocar nunca el interior del recipiente, ni con los dedos ni con ningún objeto.
- Utilizar un grifo del que la familia coja habitualmente el agua para beber o cocinar (siempre el agua fría).
- Realizar la toma por la mañana temprano, sin haber utilizado antes el grifo.
- Abrir el recipiente sólo cuando se vaya a recoger la muestra de agua.

- Abrir el grifo, dejar correr el agua unos segundos (contando hasta cinco) y cerrar después el grifo.
- Abrir entonces el recipiente, situarlo debajo del grifo y abrir el agua hasta llenarlo, sin importar que rebose.
- Cerrar bien el recipiente y proceder a secarlo con un pañuelo limpio por fuera si se hubiera mojado mucho.

El equipo investigador también tomaba una muestra del agua del colegio, siguiendo las mismas instrucciones.

El día seleccionado para cada centro escolar, los niños eran trasladados en autobús a un centro hospitalario colaborador, donde el personal de enfermería especializado procedía a una extracción sanguínea, que se completaba con una exploración clínica básica. Todo el proceso se extendía como máximo a lo largo de una mañana. Algunos padres y profesores acompañaban de forma voluntaria a los niños, sin restricciones en el acceso a las dependencias, implicándose en tareas auxiliares y de ayuda en la extracción.

Las muestras sanguíneas para la analítica del plomo se recogían con tubos de vacío. Las muestras eran analizadas con espectrofotometría de absorción atómica en horno de grafito con corrección de efecto Zeeman (Perkin-Elmer Zeeman/3030). El laboratorio de análisis participaba en varios programas de control de calidad. Las muestras de agua para el análisis de plomo eran estabilizadas hasta el análisis, con la adición de 1 cm<sup>3</sup> de ácido nítrico ultrapuro (ácido nítrico al 65% Suprapur Merck UN 2031). El plomo fue analizado por voltametría anódica de barras (*stripping anodic voltametry*).

Dada la distribución asimétrica de los valores analíticos en el agua de bebida y en sangre, se realizó una transformación logarítmica neperiana de los datos, operando en casi todas las ocasiones con dichos valores transformados. En los casos en que el valor detectado de plomo en agua era 0, se asignó un valor mínimo teórico de 0,0025 (ln 0,0025 = -6), a fin de superar el indeterminado ln(0). Además, a los valores de plomo en sangre situados por debajo del umbral de detección de la prueba (1,5 µg/dL) se les asignó un valor teórico de 1,0 µg/dL.

Los datos fueron almacenados y depurados en bases de datos estándar y procesados con los paquetes estadísticos SPSS/PC+ y EpiInfo V6. Para la descripción de las variables se realizaron distribuciones, cálculo de medias e intervalos de confianza del 95% de esas medias, ANOVA y regresiones lineales sencillas y múltiples; en los casos en que no era apropiado realizar pruebas paramétricas, se recurrió a pruebas no paramétricas (correlación de Spearman y Kruskal-Wallis). Las variables de nivel de estudios de los padres, la antigüedad de la vivienda y la antigüedad de ocupación de ésta por las familias de los niños fueron manejadas para algunos análisis (regresión de Spearman y regresión múltiple) como variables numéricas ordinales continuas, asignando valores de 1, 2, 3, etc., a cada uno de los valores sucesivos en la escala de respuesta; el valor más bajo, el 1, se otorgó al menor nivel de estudios, a los edificios de construcción más reciente y a la ocupación de la vivienda por las familias desde hacía menos de un año. El con-

sumo de tabaco, con cuatro categorías primitivas, se dicotomizó en dos grupos: fumador frente a no fumador, para el análisis de la regresión múltiple, agrupando las categorías de no fumador y ex fumador por un lado, y las de los consumidores activos de tabaco, en cualquier grado, por otro. También para la regresión múltiple, la variable que asigna la zona geográfica de la vivienda fue transformada en cinco variables *dummy*, una por cada una de las zonas (Norte, Sur, Este, Oeste y Centro). En las variables dicotómicas, se expresa como factor de riesgo el cumplimiento de la condición/factor.

El análisis de regresión lineal múltiple se ha realizado por el procedimiento «hacia delante» (*step forward*) con los valores de significación de 0,05 para entrar y de 0,10 para salir, al que se han incorporado todas las variables excepto la asistencia al comedor escolar y el sector laboral en el que trabajan los padres, tanto por la presencia de muchos valores desconocidos como por presentar numerosas categorías con pocos efectivos.

## Resultados

El estudio se realizó en 515 niños, pertenecientes a 23 colegios de la Comunidad de Madrid, distribuidos, en sus diversas variables sociodemográficas y ambientales, según los resultados expresados en las tablas 1 y 2. Aunque había mayor proporción de niños que de niñas, no hubo diferencias por esta variable entre los niños participantes y los que rehusaron entrar en el estudio. La media de edad de los niños era de 7,7 años (92,1 meses). Los padres tenían una edad media de 38,3 años y las madres de 35,7 años. Los padres trabajaban activamente en el 85,6% de los casos, mientras que las madres lo hacían en el 35,3%. Los padres fumaban más de 10 cigarrillos diarios en el 41,9% de los casos y las madres en el 28%. La mayoría de los niños (68,9%) vivían en casas que tenían más de 15 años de antigüedad; el 95,9% de los niños bebían agua del grifo.

El grupo más numeroso correspondió a los niños participantes que vivían en la ciudad de Madrid, con 300 niños pertenecientes a 13 colegios. En dos casos no se dispuso de los resultados del agua de los colegios, por causas, en principio, no sesgadas.

Los valores de plomo en sangre de los niños se situaron entre 1 y 11,5 µg/dL, con una media geométrica de 3,8 µg/L (desviación estándar [DE]= 0,2). Sólo dos niños presentaron niveles por encima de los 10 µg/dL (ambos tenían 11,5 µg/dL). Los niveles de plomo en sangre estuvieron asociados de forma significativa con las siguientes variables: edad, ciertos hábitos de oralidad, juego en la calle, sector laboral de los padres, consumo de tabaco de las madres, ubicación geográfica de las viviendas (zona geográfica del colegio), antigüedad de la vivienda y presencia de algunas mascotas en el domicilio. En el análisis de regresión entre los niveles de plomo en sangre y en el agua de la vivienda habitual se obtuvo un valor de  $r=0,11$  ( $p=0,018$ ), y de  $r=0,18$  ( $p=0,000$ ) con respecto a los niveles de plomo en el agua del colegio.

En cuanto a los niveles de plomo en el agua de bebida domiciliaria (tabla 3a), la media logarítmica resultó ser de 4,4 µg/L (DE= 2), con el 92,3% de las muestras de agua domiciliaria con

TABLA 1

## Principales características sociodemográficas y niveles de plomo asociados en los niños de la Comunidad de Madrid

Características sociodemográficas		Niños (n)	%	Plomo en sangre (µg/dL) (DE)	p*
<b>De los niños</b>					
Sexo:	• Niños	298	57,9	3,9 (0,2)	0,094
	• Niñas	217	42,1	3,7 (0,2)	
Edad (meses) (DE)		92,1 (4,8)		-0,12	0,006
Asistencia a guardería/preescolar	• Sí	462	89,7	3,8 (0,2)	NS
	• No	52	10,1	3,8 (0,2)	
Asistencia a guardería/preescolar (años) (DE)		2,4 (1,3)		0,05	NS
Asistencia a comedor escolar	• Sí	126	24,5	3,9 (0,2)	NS
	• No	215	41,7	4,0 (0,2)	
<b>Hábitos de oralidad (actuales y/o pasados)</b>					
Morderse las uñas	• Sí	204	39,6	4,1 (0,2)	0,001
	• No	311	60,4	3,6 (0,2)	
Chuparse el dedo	• Sí	58	11,3	3,9 (0,2)	NS
	• No	457	88,7	3,8 (0,2)	
Chupar/llevarse objetos a la boca	• Sí	163	31,7	4,1 (0,2)	0,014
	• No	352	68,3	3,7 (0,2)	
Lugar habitual de juegos	• Domicilio	281	54,6	3,7 (0,2)	0,009
	• Calle	232	45	4 (0,2)	
<b>De ambos padres</b>					
Edad (años) (DE)	• Padres	38,3 (5,5)		0,04	NS
	• Madres	35,7 (5,1)		-0,01	NS
<b>Nivel de estudios</b>					
Padres	• Analfabeto/EGB o bachiller incompleto	74	14,4	3,9 (0,2)	NS
	• EGB/bachiller elemental/FP1	219	42,5	3,8 (0,2)	
	• Bachiller superior/BUP/COU/FP2	80	15,5	3,5 (0,2)	
	• Universidad	98	19	3,9 (0,1)	
				r=-0,03	NS
Madres	• Analfabeto/EGB o bachiller incompleto	94	18,3	4,1 (0,1)	NS
	• EGB/bachiller elemental/FP1	250	48,5	3,7 (0,2)	
	• Bachiller superior/BUP/COU/FP2	93	18,1	3,8 (0,2)	
	• Universidad	60	11,7	3,7 (0,2)	
				r=-0,07	NS
<b>Situación laboral</b>					
Padres	• Trabajo activo	441	85,6	3,8 (0,2)	NS
	• Paro/jubilación/invalidez/hogar	30	5,9	3,9 (0,2)	
Madres	• Trabajo activo	182	35,3	3,8 (0,2)	NS
	• Paro/jubilación/invalidez/hogar	314	61	3,8 (0,2)	
<b>Sector laboral</b>					
Padres	• Agricultura y ganadería	8	1,6	3,7 (0,2)	0,009
	• Construcción	52	10,1	4,1 (0,1)	
	• Siderurgia y metales	52	10,1	4 (0,1)	
	• Manufacturas y servicios	219	42,5	3,7 (0,2)	
	• Transporte, carburantes y energía	31	6,0	3,9 (0,1)	
	• Productos químicos	15	2,9	2,7 (0,2)	
	• Labores del hogar	1	0,2	3,5 (---)	
	• Otros	75	14,6	4,1 (0,1)	
Madres	• Agricultura y ganadería	0	0	---	NS
	• Construcción	1	0,2	3 (---)	
	• Siderurgia y metales	2	0,4	3,5 (---)	
	• Manufacturas y servicios	153	29,7	3,7 (0,2)	
	• Transporte, carburantes y energía	5	1	4,8 (0,1)	
	• Productos químicos	5	1	3 (0,2)	
	• Labores del hogar	259	50,3	3,8 (0,2)	
	• Otros	26	5	4,1 (0,2)	
<b>Consumo de tabaco</b>					
Padres	• No fuma, ni ha fumado nunca	110	21,4	3,6 (0,2)	NS
	• <10 cigarrillos/día	63	12,2	4 (0,2)	
	• >10 cigarrillos día	216	41,9	3,9 (0,2)	
	• Ex fumador	84	16,3	3,8 (0,2)	
Madres	• No fuma, ni ha fumado nunca	159	30,9	3,6 (0,2)	0,044
	• <10 cigarrillos/día	109	21,2	3,7 (0,2)	
	• >10 cigarrillos día	144	28	4,1 (0,2)	
	• Ex fumadora	84	16,3	3,9 (0,2)	

DE: desviación estándar; NS: no significativo. Todos los valores de los análisis (ANOVA y correlaciones) han sido calculados a partir de transformaciones logarítmicas (neperianas) de los valores del plomo en sangre. \*ANOVA o correlaciones divariadas. Se especifican los valores de  $p < 0,100$ .

TABLA 2

**Determinantes ambientales y su relación con los niveles de plomo en sangre de los niños de la Comunidad de Madrid**

Características medioambientales		Niños (n)	%	Plomo en sangre (µg/dL) (DE)	p*	
Situación de la vivienda	CM Norte	32	6,2	4,7 (0,2)	0,000	
	CM Este	78	15,1	3 (0,2)		
	CM Sur	67	13,0	3,9 (0,1)		
	CM Oeste	38	7,4	3,3 (0,2)		
	Ciudad de Madrid	300	58,3	4 (0,1)		
Años de antigüedad de la vivienda**	<5	43	8,3	4,5 (0,1)	0,040	
	5-9	34	6,6	4 (0,2)		
	10-14	72	14	3,8 (0,2)		
	15-19	121	23,5	3,6 (0,2)		
	20-29	149	28,9	3,7 (0,2)		
	30-50	76	14,8	4 (0,2)		
	>50	9	1,7	4,3 (0,2)		
			r= 0,00	NS		
Años de ocupación de la vivienda**	<1	32	6,2	4,2 (0,2)	NS	
	1-2	54	10,5	4 (0,2)		
	3-4	39	7,6	3,7 (0,1)		
	5-6	43	8,3	4 (0,1)		
	7-8	65	12,6	3,7 (0,2)		
	9-10	74	14,4	3,5 (0,2)		
	>10	200	38,8	3,9 (0,2)		
			r= -0,03	NS		
Pintado de la casa en los últimos 5 años	Sí	441	85,6	3,8 (0,2)	NS	
	No	64	12,4	3,7 (0,2)		
Principal fuente de bebida del niño	Agua del grifo	494	95,9	3,9 (0,2)	NS	
	Agua embotellada, refrescos y otras bebidas	17	3,3	3,8 (0,2)		
	Agua del domicilio familiar			r= 0,11		0,018
	Agua del colegio			r= 0,18		0,000
Presencia de mascotas	Perros	Sí	60	11,7	3,8 (0,2)	NS
		No	445	86,4	3,8 (0,2)	
	Gatos	Sí	32	6,2	3,2 (0,2)	0,009
		No	472	91,7	3,8 (0,2)	
	Otros	Sí	219	42,5	3,7 (0,2)	NS
		No	289	56,1	3,9 (0,2)	

DE: desviación estándar; NS: no significativo. Todos los valores de los análisis (ANOVA y correlaciones) han sido calculados a partir de transformaciones logarítmicas (neperianas) de los valores del plomo en sangre. \*ANOVA o correlaciones bivariadas, se especifican los valores p <0,100. \*\*En el caso de las variables marcadas con este símbolo se han realizado dos análisis: ANOVA y cálculo del coeficiente de correlación de Spearman.

cifras inferiores a 10 µg/L; 27 muestras (el 5,5% de los casos) tuvieron valores >10 pero <25 µg/L; 8 muestras (el 1,6 %) tuvieron valores >25 µg/L, y únicamente 3 muestras (el 0,6%) presentaron valores >50 µg/L. Los principales determinantes del plomo domiciliario están relacionados con la situación geográfica de la vivienda (p= 0,000; figura 1) (se detectaron mayores niveles

en la ciudad de Madrid) y con la antigüedad de la vivienda (p= 0,000), con un claro gradiente ascendente (figura 2).

Respecto a los niveles de plomo en el agua del colegio (tabla 3b), los valores variaron entre 2,1 y 45 µg/L. Por rangos, 4 colegios (17,4%) presentaban valores >10 pero <25 µg/L, y sola-

TABLA 3a

**Nivel de plomo en el agua de bebida del grifo doméstico ( $\mu\text{g/L}$ ) en relación con la localización geográfica de las viviendas y la antigüedad de su construcción**

Zona geográfica	n	Media	DE	Mínimo	Máximo	$p^*$
Norte	31	3,7	2,2	0,2	12,3	0,000
Este	78	4	1,6	1,1	26	
Sur	67	3,6	1,8	0,7	25,8	
Oeste	20	3,4	2	1	16,3	
Madrid (ciudad)	296	4,8	2,1	0,3	64,1	
Total	492	4,4	2	0,2	64,1	
<b>Antigüedad (años)</b>						
<5	37	3,5	2,8	0,2	56,3	0,000
5-9	34	4,3	2,1	1	19,1	
10-14	66	3,7	1,7	1,2	27,9	
15-19	117	4	1,7	1	16,4	
20-29	146	4,5	1,7	1,1	55,1	
30-50	74	5,4	2,4	0,3	64,1	
>50	9	10,2	1,8	4,9	40,8	
Total	483	4,4	2	0,2	64,1	

DE: desviación estándar. Todos los valores han sido transformados logarítmicamente. \*Kruskal-Wallis.

TABLA 3b

**Plomo en el agua de bebida del grifo del colegio ( $\mu\text{g/L}$ ) en relación con su localización geográfica**

Zona geográfica	n	Media	DE	Mínimo	Máximo	$p^*$
Norte	3	9,5	2,9	2,2	28	0,000
Este	2	4,5	1,1	4,2	5	
Sur	3	2,9	1,3	2,1	3,6	
Oeste	1	3,2	—	—	—	
Madrid (ciudad)	13	6,4	2,0	2,7	45	
Total	21	5,6	2,0	2,1	45	

DE: desviación estándar. Todos los valores han sido transformados logarítmicamente. \*Kruskal-Wallis.

mente 2 (8,7%) tenían más de 25  $\mu\text{g/L}$ , uno con 28  $\mu\text{g/L}$  y el otro con 41  $\mu\text{g/L}$ .

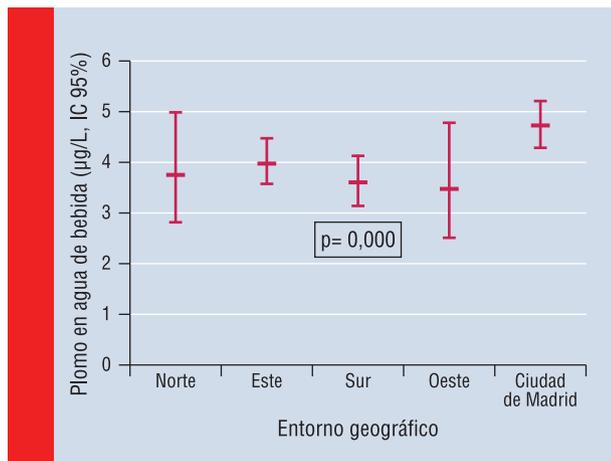
Por último, en la tabla 4 se recoge el análisis de regresión lineal múltiple de predicción de los niveles de plomo en sangre de los niños. Este modelo es relativamente persimonioso, con ocho variables significativas en la ecuación final; seis variables actúan en sentido directo: plomo en el agua de la vivienda y del colegio, morderse las uñas, jugar en la calle y vivir en la zona Norte; en relación inversa (protectoras) se encuentran las siguientes variables: vivir en la zona Este u Oeste de la Comunidad de Madrid y la edad. El coeficiente de determinación es de 0,21, que explicaría hasta el 21% de la variabilidad residual.

## Discusión

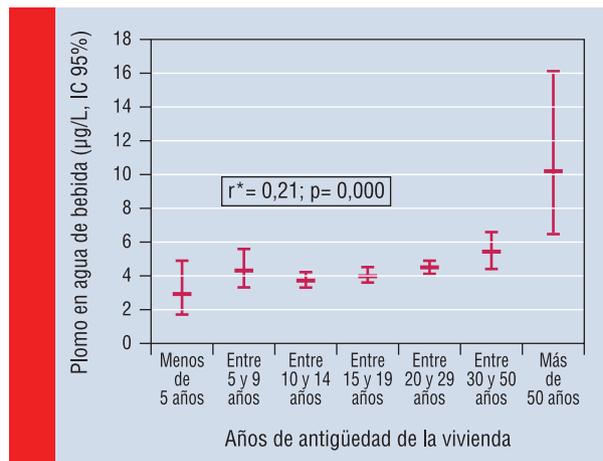
La concentración de plomo en sangre observada en los niños de la Comunidad de Madrid presenta una media geométrica de

3,8  $\mu\text{g/dL}$ , nivel que se sitúa por debajo de los 10  $\mu\text{g/dL}$  definidos por los CDC como máximo aceptable y que situarían a los niños de la Comunidad de Madrid en niveles similares a los de los países y zonas desarrollados<sup>19</sup>. Estos valores hallados sirven como referencia basal de los niveles de plomo en sangre que presenta la población infantil de la Comunidad de Madrid, de la que se carecía de información global, en fases previas a la introducción de medidas restrictivas en el uso del plomo como aditivo en las gasolinas.

Los niveles de plomo en sangre de los niños, aun pertenecientes a una estrecha franja etaria, mantienen una relación negativa con la edad, lo que está en sintonía con la disminución del plomo en sangre entre los 2 y los 13 años, motivado fundamentalmente por la desaparición de los hábitos de gateo y oralidad<sup>17,18</sup>. La relación significativa encontrada en este estudio entre los niveles de plomo en sangre con los hábitos de oralidad es asimismo coherente, ya que las manos y las uñas



**Figura 1.** Plomo en el agua de bebida del grifo doméstico en relación con la localización geográfica de las viviendas (medias e intervalos de confianza calculados logarítmicamente)



**Figura 2.** Plomo en el agua de bebida del grifo doméstico en relación con la antigüedad de la vivienda (medias e intervalos de confianza calculados logarítmicamente). \*: r de Spearman

#### TABLA 4

**Modelo de regresión lineal de predicción de los niveles de plomo en sangre en los niños de 7-8 años de la Comunidad de Madrid, en función de las variables sociodemográficas y del nivel de plomo en agua de bebida domiciliar y de los colegios**

Plomo	Coficiente	p
Constante	72,4	0,000
Plomo en el agua del hogar	0,4	0,002
Plomo en el agua del colegio	0,2	0,032
Edad (meses)	-0,5	0,006
Jugar en la calle	3,4	0,015
Morderse las uñas	5,5	0,000
Zona Norte	9,0	0,002
Zona Oeste	-11,3	0,001
Zona Este	-6,7	0,001
r <sup>2</sup> del modelo	0,21	0,000

son fuentes de aporte de sustancias depositadas en ellas, y la concentración es mayor cuando los niños juegan habitualmente en la calle, por la deposición del plomo de la contaminación aérea, que cuando juegan en casa, donde las pinturas de las paredes no tienen concentraciones tan elevadas de plomo como en Estados Unidos, país en el que éstas suscitan una mayor preocupación como fuente de exposición<sup>15-17</sup>.

Los niveles encontrados son inferiores a los presentados por otros estudios realizados en las mismas fechas, como en Cartagena (8,1 µg/dL)<sup>23</sup>, Valladolid (5,7 µg/dL)<sup>24</sup>, Bilbao (5,7 µg/dL)<sup>25</sup>, Madrid (entre 3,8 y 4,7 µg/dL)<sup>21,26,27</sup> y Barcelona (5,4 y 5,5 µg/dL)<sup>28</sup>, y muy inferiores a los detectados en 1982 en Galicia

(26,6 µg/dL) o en Asturias en 1993, donde la plumbemia asociada al consumo de agua se cifraba en 22,1 µg/dL<sup>29,30</sup>.

Sin embargo, estos valores se han visto aún más reducidos en la Comunidad de Madrid según estudios del proyecto Infancia y Medio Ambiente (INMA), que lo cifra en 1,7 µg/dL<sup>31</sup>, al menos para niños recién nacidos, lo que podría explicarse por la reducción de plomo atmosférico debido a la entrada en vigor en 2002 de la normativa que prohíbe el plomo en las gasolinas. Se ha observado un descenso similar relacionado con esta prohibición en otros países, como Estados Unidos, Suecia, Inglaterra, etc.<sup>32</sup>.

La reducción de la concentración de plomo de las gasolinas (aún se acepta un nivel de 0,05 g/L) ha supuesto, sin duda, una de las medidas más relevantes desde el punto de vista de la salud pública en relación con este contaminante. Otras fuentes, y más en concreto la ingestión de agua, pueden ser todavía una amenaza; por ejemplo, las conducciones internas de los edificios, sobre todo las de los más antiguos, urbanos y rurales, pueden suponer un riesgo. En este sentido, destacan las altas plumbemias asociadas a las conducciones detectadas en ámbitos rurales de Asturias y Galicia en la década de los ochenta, o el más reciente brote de saturnismo (1999) registrado en Extremadura<sup>33</sup>. Todo ello induce a pensar que las conducciones de plomo de las casas y edificios de nuestro país todavía pueden constituir un problema de salud pública. Afortunadamente, la nueva legislación de aguas potables, a partir del Real Decreto 140/2003<sup>34</sup>, obliga a realizar controles periódicos de la calidad del agua en las viviendas, lo que detectaría potenciales niveles altos de plomo en el agua de consumo.

La presencia de plomo en el agua de bebida a través de las conducciones se debe a la disolución de este metal, ya sea de la propia conducción, de las soldaduras o incluso de las conducciones de PVC, que también contienen pequeñas cantidades de plomo. Este proceso se ve modulado por la presencia de cloruros, oxígeno disuelto, pH, temperatura, dureza y agresividad del agua,

así como por el tiempo de permanencia del agua en la conducción. El empleo de tuberías de plomo fue práctica habitual hasta la década de los setenta (en Francia hasta la década de los sesenta)<sup>35</sup>, y posteriormente cayó en desuso. Una cantidad considerable de los inmuebles antiguos cuentan aún con instalaciones de este tipo, lo que se pone de manifiesto por el incremento en el agua según el grado de antigüedad de los edificios. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la antigüedad por sí sola no explicaría este hecho, sino que es preciso considerar además la propia calidad del agua, es decir, un agua con escasa alcalinidad, oxigenación alta, pH ligeramente ácido y mineralización baja, como la distribuida por la empresa pública Canal de Isabel II. La misma relación obtienen otros autores en el Gran Bilbao y otras ciudades, tanto españolas como extranjeras<sup>36</sup>. El balance final del conjunto de reacciones de corrosión conduce al consumo de oxígeno, la producción de iones OH<sup>-</sup> y la emisión de iones plomo<sup>37</sup>.

Por ello, resulta significativa la relación existente entre los niveles de plomo en sangre y el del agua de bebida, aunque sólo explique algo más del 1% de la variabilidad de los niveles sanguíneos, lo que parece lógico a la luz de los bajos niveles de plomo encontrados en el agua.

El plomo en sangre tiene una relación directa con las variables socioeconómicas y de comportamiento, como el nivel de renta, el residir en casas viejas y el hábito tabáquico de los padres<sup>18,21</sup>, de manera concordante con nuestro estudio. La aproximación a estas variables se ha realizado de forma indirecta a través del nivel de estudios y la situación laboral de los padres. Esta aproximación expresa la paradoja de que los niños con padres con menor nivel socioeconómico residen en la corona metropolitana, en una migración interior hacia zonas residenciales de menor tráfico y construcción reciente, que resultan ser factores de protección frente al plomo ambiental.

Asimismo, resulta coherente que los mayores niveles de plomo lo presenten los niños cuyos padres trabajan en el sector de la construcción y en el sector del «transporte, carburantes y energía», muy relacionados con el plomo.

Se ha comprobado la relación entre los niveles de plomo en sangre y el residir en áreas rurales o urbanas, en el sentido de que vivir en áreas urbanas conlleva mayores niveles de plomo en sangre<sup>17,18,20,21</sup>. En este estudio se observan diferencias en los niveles de plomo en función del área geográfica en la que viven los niños, ya que son más altos en la zona norte y en la zona centro (Madrid capital), y no se ha encontrado una causa que lo explique. Podría deberse al muestreo, que cuenta con diferentes efectivos por zona, y a las posibles variaciones del plomo en la contaminación ambiental.

La relación significativa entre el plomo en sangre y la variable «años de construcción de la vivienda» es difícil de explicar, ya que es en las viviendas más modernas y en las más viejas donde los niños presentan mayores niveles de plomo. Las viviendas más viejas tienen mayores concentraciones de plomo en el agua, lo que apunta a que las conducciones internas de las casas son de plomo, cuestión que sin duda cabe tener en

consideración desde el punto de vista del cumplimiento del vigente marco normativo<sup>34</sup>. Sin embargo, las viviendas más recientes no tienen conducciones de plomo, y así lo atestiguan los valores encontrados, pero los niños sí presentan mayores niveles de plomo en sangre. Podría ser que esos niños tuvieran altos niveles de plomo almacenados después de haber residido los primeros años de su vida en otras viviendas más antiguas, situadas en barrios más viejos y de mayor tráfico<sup>38</sup>.

El modelo de regresión lineal múltiple incorpora ocho variables, todas ellas con coherencia biológica. Las variables que presentan una relación directa modulan la exposición al plomo a través del agua de bebida, en la vivienda o en el colegio, y a través del hábito «morderse las uñas» y «jugar en la calle». Estas dos últimas variables indican que el plomo se encontraría potencialmente en el suelo como consecuencia de la deposición de este metal del aire procedente de la contaminación aérea. Respecto a la ubicación geográfica, el vivir en la zona norte se ha asociado a niveles más elevados de plomo. Este hecho, aun cuando pudiera estar vinculado a factores de desarrollo industrial elevados en la zona, no proporcionaría una explicación plenamente satisfactoria, pues otras zonas de bajos niveles, como la zona este, también presentan desarrollos industriales notables. Los mayores niveles de la ciudad de Madrid son coherentes con su gran carga de tráfico.

Varias son las limitaciones que presenta el estudio. Una de ellas tiene que ver con la utilización del plomo en sangre como biomarcador de exposición a este metal. Dadas las características toxicocinéticas del plomo dentro de los distintos compartimentos corporales (ciclo: hueso, sangre, tejidos blandos), resulta difícil saber si el nivel detectado en sangre procede del plomo almacenado en el cuerpo desde hace años o es fruto de una exposición reciente. Sin embargo, a pesar de sus limitaciones, la comunidad científica sigue apostando por el plomo en sangre como el mejor marcador de la concentración interna<sup>39</sup>. Otras limitaciones tienen que ver con el tamaño de la muestra y la edad de los niños representados, que cubre un espectro etario muy concreto. Por último, la necesidad ética del carácter voluntario del estudio, así como el hecho de que la muestra no incluya a los niños que estudian en colegios privados o que no estén escolarizados, le restan representatividad.

Con la reducción de las emisiones atmosféricas del plomo desde la introducción de la legislación restrictiva de su uso en las gasolineras, el agua ha asumido una nueva importancia como fuente de plomo más importante, susceptible de ser controlada. La aplicación del Real Decreto 140/2003, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua para consumo humano<sup>34</sup>, va a ser, sin duda, una de las mejores herramientas en manos de la salud pública de nuestro país para arbitrar actuaciones en las zonas de cada comunidad autónoma en que el plomo, a través de las conducciones de agua potable, puede constituir todavía un problema de salud, tal como se ha puesto de manifiesto en este estudio, en el que se detectaron niveles de plomo en el agua por encima del valor establecido, tanto en las viviendas como en los colegios.

## Agradecimientos

Los autores quieren expresar su agradecimiento a todos los niños, padres, directores y profesores de los colegios. Un especial reconocimiento a los profesionales del Departamento de Pediatría del Hospital General Universitario «Gregorio Marañón», encabezado por el Dr. I. Villa Elízaga y el Dr. Vicente Climent, y al cuerpo de enfermería del citado Departamento.

## Bibliografía

1. Albert LA. Introducción a la toxicología ambiental. México: ECO, Metepec, 1997.
2. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for Lead (Update). Atlanta: US Department of Health and Human Services, 2007.
3. Hong S, Candelone JP, Petterson CC, Boutron CP. Greenland ice evidence of hemispheric lead pollution two millennia ago. *Science*. 1994; 265: 1.841-1.843.
4. Ministerio de Medio Ambiente. Medio ambiente en España 2005. Madrid: Centro de Publicaciones. Secretaría General Técnica, 2006.
5. Organización Panamericana de la Salud. Plomo. Criterios de salud ambiental 3. Organización Panamericana de la Salud. México: OPS, 1979.
6. Gestal JJ, Aguilar MR, Romani M. Epidemiología de la intoxicación por plomo. *Mapfre Med*. 1991; 2: 239-249.
7. Domínguez M, De la Calle C. El saturnismo en la medicina preventiva actual. *Rev San Hig Pub*. 1976; 50: 79-88.
8. World Health Organization. Lead. Environmental Aspect. Environmental Health Criteria 85. Ginebra: OMS, 1989.
9. Corey G. PLOMO Serie Vigilancia 8. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. México: OPS, 1989.
10. Romieu I, Palazuelos E, Hernández-Ávila M, Ríos C, Muñoz I, Giménez C, et al. Sources of lead exposure in Mexico City. *Environ Health Perspec*. 1994; 102: 384-389.
11. McMichael AJ, Baghurst PA, Robertson EF, Vimpani GV, Wig NR. The Port Pirie cohort study: blood lead concentrations in early childhood. *Med J Aust*. 1985; 43: 301-307.
12. Needelman HL, Schell A, Bellinger D, Leviton A, Allred E. The long-term effects of exposure to low doses of lead in childhood: an 11-year follow-up report. *N Engl J Med*. 1990; 322: 83-88.
13. Landrigan PJ. Toxicity of lead at low dose. *Br J Ind Med*. 1989; 46(9): 593-596.
14. Bellinger D. Neuropsychologic function in children exposed to environmental lead. *Epidemiology*. 1995; 6(2): 101-102.
15. Centers for Disease Control and Prevention. Preventing lead poisoning in young children. Atlanta: US Department of Health and Human Services, CDC, 2005.
16. Centers for Disease Control and Prevention. Managing elevated BLLs among young children: recommendations from the Advisory Committee on Childhood Lead Poisoning Prevention. Atlanta: US Department of Health and Human Services, CDC, 2002 (consultado en marzo de 2008). Disponible en: [www.cdc.gov/nceh/lead/Case-Management/casManage\\_main.htm](http://www.cdc.gov/nceh/lead/Case-Management/casManage_main.htm)
17. American Academy of Pediatrics. Committee on Environmental Health. Lead exposure in children: prevention, detection, and management. *Pediatrics*. 2005; 116: 1.036-1.046.
18. Bellinger DC. Lead. *Pediatrics*. 2004; 113: 1.016-1.022.
19. Shober SE, Mirel LB, Graubard BI, Brody DJ, Felgall KM. Blood lead levels and deaths from all causes, cardiovascular disease and cancer: results from the NHANES III Mortality Study. *Environ Health Perspect*. 2006; 114(10): 1.538-1.541.
20. Finkelstein Y, Markowitz ME, Rosen JF. Low-level lead-induced neurotoxicity in children: an update on central nervous system effects. *Brain Res Rev*. 1998; 27: 168-176.
21. Vázquez ML, Ordóñez JM, Aparicio, MI. Niveles de plomo en sangre de los niños de la corona metropolitana de Madrid. *Gac Sanit*. 1998; 12(5): 216-222.
22. Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid. Anuario estadístico de la Comunidad de Madrid 1991. Madrid: Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid, 1992.
23. Guillén A, García-Marcos L, Níquez JC, Pérez J, Cascales I. Plomo y salud infantil. *An Esp Pediatr*. 1993; 38 Supl: 97-100.
24. Redondo MJ, Álvarez FJ. An unknown risk group of lead poisoning: the gipsy children. *Eur J Pediatr*. 1995; 154: 197-200.
25. Cambra K, Alonso E. Blood lead levels in 2-to 3-years-old children in the greater Bilbao Area (Basque Country, Spain): relation to dust and water lead levels. *Arch Environ Health*. 1995; 50: 362-366.
26. Calvo C, Matamala J, Carreño P, Albañil L. Niveles de plomo en sangre en una población de Fuenlabrada (Madrid). *Med Clin (Barc)*. 1997; 108: 436-440.
27. González M. Estudio de elementos traza y variables cognitivas en niños en edad escolar (tesis doctoral). Madrid: Universidad Complutense de Madrid, 1995.
28. García-Algar O, Elizari MJ, Carné E, Valero A, Vall O. Niveles sanguíneos de plomo en niños de un barrio de Barcelona. *Ann Pediatr*. 2003; 59(5): 500-506.
29. Collarte MB, Mato J, Rodríguez L. Una investigación sociosanitaria sobre exposición al plomo y saturnismo en la ciudad de Orense. *Rev San Hig Pub*. 1982; 56: 211-261.
30. Rivas JV, Rivas FM, Crespo M. Epidemiología del saturnismo infantil en Asturias. *An Esp Pediatr*. 1993; 38: 390-393.
31. Pérez Gómez B. Metales pesados en sangre de cordón umbilical en dos áreas sanitarias de la Comunidad de Madrid. *Gac Sanit*. 2005; 19 Supl 1: 11-149.
32. Centers for Disease Control and Prevention. Blood lead levels United States, 1999-2002. *MMWR*. 2005; 54: 513-516.
33. García P. Acumulación de casos de saturnismo en dos poblaciones de Extremadura. *Rev Adm Sanit*. 2006; 4(3): 465-480.
34. Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. BOE n.º 45, de 21 de febrero de 2003.
35. Institut de Veille Sanitaire. Guide d'investigation environnementale des cas de saturnisme de l'enfant (consultado en marzo de 2008). Disponible en: [www.invs.sante.fr/publications/2006/guide\\_saturnisme\\_enfant/](http://www.invs.sante.fr/publications/2006/guide_saturnisme_enfant/)
36. Cirarda FB. Niveles de plomo en el agua de consumo del Gran Bilbao. En: Guillén JJ, González M, eds. ¿Es el plomo un problema de salud pública? Madrid: Mapfre, 2000.
37. Leroy P. Revue de méthodes de traitement d'eau utilisables pour réduire la solubilité du plomb et la corrosivité de l'eau. Recommandations françaises (consultado en abril de 2008). Disponible en: [www.ceocor.lu/](http://www.ceocor.lu/)
38. Ordóñez Iriarte JM, Aparicio Madre MI. Relación entre el tráfico en los domicilios habituales y los niveles de plomo en sangre en madres en la ciudad de Madrid. *Gac Sanit*. 1996; 10 Supl 2: 75.
39. Barbosa F, Tanus-Santos JE, Gerlach RF, Parsons JA. Critical review of biomarkers used for monitoring human exposure to lead: advantages, limitations, and future needs. *Environ Health Perspect*. 2005; 113(12): 1.669-1.674.