

El sistema geográfico de información y las concentraciones de plomo en sangre en una población infantil venezolana

Carlos Espinosa, Ing en Sist,⁽¹⁾ Maritza Rojas, Toxicól,⁽¹⁾ David Seijas, Econ.⁽¹⁾

Espinosa C, Rojas M, Seijas D.
El sistema geográfico de información
y las concentraciones de plomo en sangre
en una población infantil venezolana.
Salud Publica Mex 2006;48:84-93.

Resumen

Objetivo. Identificar los factores ambientales que contribuyen a la concentración de plomo en sangre (Pb-S) en niños de Valencia, Venezuela, con la utilización del Sistema Geográfico de Información (SGI). **Material y métodos.** Estudio analítico ecológico. Población: 60 niños. Información obtenida: demografía, fuentes de emisión de plomo ambiental, niveles de Pb-S. Relación entre variables ambientales y Pb-S mediante análisis de *buffer*. **Resultados.** Diferencia significativa entre el Pb-S en varones (11.1 ± 3.1 µg/dl) en comparación con las mujeres (9.5 ± 2.7 µg/dl). La media de la Pb-S de los niños residentes en *buffer* (10.7 ± 3.2 µg/dl) fue superior a la media de los restantes (9.9 ± 2.5 µg/dl). Los niños con valores superiores al límite permisible de Pb-S que viven en la zona sur tuvieron una media de Pb-S significativamente superior respecto de los demás. El SGI permitió identificar en el taller de herrería/soldadura la fuente de exposición más cercana a las residencias de los varones. **Conclusiones.** El SGI hizo posible reconocer fuentes de exposición al plomo y su vínculo con niveles de Pb-S de los niños que viven cerca de dichas fuentes. Se sugiere evaluar con posterioridad los factores adicionales que favorecen el riesgo de exposición.

Palabras clave: sistema geográfico de información; plomo; factores ambientales; Venezuela

Espinosa C, Rojas M, Seijas D.
Usefulness of the Geographic Information System (GIS)
in the identification of contributing factors to lead blood
concentrations in a population of Venezuelan children.
Salud Publica Mex 2006;48:84-93.

Abstract

Objective. To identify environmental factors that contribute to blood lead levels (BPb) in children living in an urban area in Valencia, Venezuela, using a Geographical Information System (GIS) as an association tool. **Material and Methods.** An analytical-ecological study was carried out. Population: 60 children. Data collected: Demography, potential sources of environmental lead and BPb concentrations. An association was made between environmental variables and BPb, using a buffer analysis. **Results.** There was a statistically significant difference between BPb in males (11.1 ± 3.1 µg/dl) compared to females (9.5 ± 2.7 µg/dl). Average BPb of children living within the buffer areas (10.7 ± 3.2 µg/dl) was higher than that of the rest of the children (9.9 ± 2.5 µg/dl). Children with BPb levels higher than the permissible limit who live in the southern region of the area studied had an average BPb significantly higher than the rest. The GIS enabled the identification of a soldering/welding shop as the nearest source of exposure to the male children's homes. **Conclusions.** GIS made it possible to recognize sources of lead exposure in the area and its association with the BPb levels of children that live near such sources. It is suggested to further evaluate additional factors that could influence the risk of lead exposure.

Key words: GIS; lead; environmental factors; Venezuela

(1) Centro de Investigaciones Toxicológicas, Universidad de Carabobo (CITUC). Valencia, Venezuela.

La distribución de plomo alrededor del mundo, las numerosas vías de exposición para el ser humano y la documentación existente de sus efectos adversos en el sistema biológico son suficientes para caracterizarlo como uno de los agentes tóxicos más comunes.¹ Sus efectos deletéreos se han descrito en extenso en diversas publicaciones²⁻⁵ y los niños son sin duda uno de los grupos más vulnerables a la acción del metal, por factores notificados ya en la bibliografía mundial.⁶

Los estudios ambientales han evaluado la relación entre la contaminación de medios ambientales (p. ej., el aire) y las características de las urbes y su población, asimismo se ha observado una distribución espacial inherente. En dichas investigaciones son frecuentes las siguientes preguntas: ¿quiénes son los individuos en riesgo?, ¿a cuánta distancia se hallan de las fuentes de intoxicación? y ¿por qué razones coinciden los riesgos y tales comunidades?⁷

Los Sistemas Geográficos de Información (SGI) han suministrado a los epidemiólogos ambientales nuevas herramientas para el estudio de la relación entre la exposición ambiental y la enfermedad.⁸ Las investigaciones realizadas han sugerido que la forma y el tamaño del área afectada y la gama de los peligros vinculados con el riesgo podrían representarse de modo más eficiente con los SGI. Una de las indicaciones consiste en construir áreas circulares de radio específico y centrarlas en cada fuente de emisión de agentes tóxicos.⁹ Sin embargo, es importante resaltar que el radio del círculo es casi siempre arbitrario y no refleja la intensidad de la capacidad tóxica de los agentes a los que se exponen las personas en cada sitio.

Por lo regular, las características de la población en riesgo se calculan por la superposición de la dirección de cada zona vulnerable, respecto de las direcciones de otros polígonos que contienen atributos de información. Las capacidades analíticas de los SGI se emplean para extraer información de estos polígonos.¹⁰

Valencia, capital del estado Carabobo (Venezuela), es la principal ciudad industrial del país y sus características de ventajosa ubicación geográfica, junto con su acelerado crecimiento, han generado una diversidad de problemas interrelacionados que afectan las condiciones ambientales y atentan contra la calidad de vida de sus habitantes.¹¹ Estudios realizados por los autores en esta ciudad, basados en los adultos y niños que acudieron al Centro de Investigaciones Toxicológicas de la Universidad de Carabobo (CITUC), para someterse a análisis de plomo en sangre (Pb-S) durante el periodo de 1998 a 2000, permitieron determinar que las zonas de procedencia de esos individuos y su condición socioeconómica podrían constituir predictores

de los niveles elevados de Pb-S encontrados.¹²⁻¹⁴ En los mencionados estudios se reconoció un nexo entre el número de adultos y niños con valores de Pb-S superiores al límite permisible (VSLP) establecido por los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades de Estados Unidos (*Center for Disease Control and Prevention*, CDC)¹⁵ y un sector de procedencia denominado "Michelena". En estas investigaciones se recomendó determinar, de forma más concluyente, los predictores que influyen en el efecto del metal sobre la salud de los niños que habitan en dicha zona.

Con base en estos antecedentes, el presente trabajo seleccionó como área en estudio el "sector Michelena". La finalidad era identificar los factores ambientales que propician la concentración de Pb-S de los niños que viven y estudian en esa área mediante el SGI como herramienta de vinculación.

Material y métodos

El estudio fue analítico-ecológico. La proyección geográfica utilizada fue UTM (Universal Transverse Mercator), zona 19 (Venezuela), hemisferio norte (La Canoa). La región en estudio abarca 854 300 m²; el "sector Michelena" se consideró el espacio geográfico comprendido dentro de los siguientes límites: noreste: Avenida Lara/Autopista del sur (X: 611 039.35; Y: 1 125 836.41); noroeste: Avenida Lara/Avenida Branger (X: 610 220.64; Y: 1 125 729.81); sureste: río Cabriales/Autopista del Sur (X: 610 891.52; Y: 1 124 834.27); y suroeste: Avenida Branger/río Cabriales (X: 610 331.42; Y: 1 124 911.02). Este es un sector de Valencia que incluye las siguientes zonas residenciales: la Michelena, San Blas I y II, El Milagro y San Rafael. El mapa digitalizado lo suministraron expertos de la Defensa Civil, Estado Carabobo. Este contiene información sobre las cuerdas, viviendas, registro de industrias, negocios medianos y pequeños, centros comerciales, centros de salud, calles, avenidas, autopistas, plazas y parques en el área.

Se seleccionó a la población infantil de exposición aparente y se registraron las fuentes potenciales de emisión de plomo. El estudio se efectuó en el periodo comprendido entre abril y diciembre del 2004 y su diseño y financiamiento fueron aprobados por el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CDCH) de la Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.

Se utilizó como software de base el MAPINFO Profesional Versión 6.5* para el análisis en el ambiente del SGI.

* MAPINFO profesional V6.5 (programa de computadora). Troy New York 12180, MAPINFO Corporation; 2002.

Selección de la población infantil potencialmente expuesta

La población estuvo constituida por 156 niños que viven y estudian en el "sector Michelena".

Para el diseño de la muestra se consideró como variable principal la concentración de Pb-S en los niños de dicho sector. En un estudio previo de los autores, esta zona se había clasificado como de alto riesgo de exposición al plomo, dada la proporción de niños que habían obtenido valores de Pb-S superiores al límite permisible (10 µg/dl). En este sentido, dicha variable es dicotómica en términos de adecuación y por ello resultó pertinente calcular como medida estadística la proporción en este estudio. El tipo de muestreo utilizado fue el aleatorio simple; el tamaño de la muestra se calculó con una confiabilidad de 95% y un error máximo admisible de 10%; se obtuvo así a 60 niños, los cuales se ubicaron en dos colegios situados en la cercanía de sus viviendas. Los criterios de selección fueron la edad comprendida entre 4 y 9 años, los dos géneros, las condiciones socioeconómicas al parecer similares y un mínimo de tiempo de residencia en el lugar ≥ 12 meses. Se contó con el consentimiento por escrito de los padres o representantes de los niños, tanto para la obtención de la información en general, como para la determinación analítica en las muestras de sangre tomada.

Con el objeto de precisar la influencia de las condiciones ambientales de los niños (casa, colegio), en relación con los niveles de Pb-S, el cuestionario administrado a los padres o representantes permitió obtener, además de la información demográfica de los niños, el lugar donde éstos pasan con más frecuencia sus horas extra académicas, debido a que es práctica común en Venezuela que algunos niños reciban "tareas dirigidas" en su propio colegio o en otras dependencias.

Con esta información se creó una capa llamada "persona.tab" que incluyó la ubicación espacial de los hogares de los niños, una base de datos con la información personal (dirección, sexo y lugar donde los niños permanecen más tiempo) y los valores obtenidos de Pb-S (figura 1).

De igual modo, se identificaron las fuentes potenciales de exposición al plomo, incluidas las distancias aproximadas entre ellas y los hogares. Esta información se constató de manera apropiada con las inspecciones oculares y la consecuente aplicación del SGI.

Identificación de las fuentes de emisión de plomo al ambiente

Se subdividió el área en estudio en cuatro zonas: noreste, noroeste, sureste y suroeste. Se registraron en

mapas a escala las fuentes potenciales de emisión de plomo (estaciones de gasolina, empresas fundidoras/recuperadoras de metales, vías de gran tránsito vehicular, paradas de autobuses, talleres de herrería o soldadura, talleres de latonería/pintura, fábricas/recuperadoras de baterías, fábricas de pigmentos/pegamentos, plantas químicas, venta de pinturas/pegamentos, fábrica/venta de vidrios, etc.). El conocimiento en detalle de estas zonas, el criterio profesional y la bibliografía consultada^{16,17} permitieron identificar y seleccionar 31 fuentes potenciales de emisión de plomo al ambiente (figura 2).

Con esta información se alimentó la capa "Valencia.tab" (datos suministrados por los expertos de Defensa Civil Carabobo). Se establecieron radios de acción del metal (*buffer*) de 130 m y se tomó a las fuentes descritas como epicentro.^{7,18}

Método de análisis de *buffer*

Este método se basa en una técnica de análisis espacial en la cual se valora, en términos de distancia, la proximidad geográfica de los potenciales sitios de riesgo a la población en estudio. Estos sitios y la población circundante se representan en términos geográficos como puntos, líneas o áreas, dentro de las capas, y se estudian a diferentes escalas espaciales, en la forma de mapas.^{7,9}

La distancia media adecuada para cuantificar la magnitud del potencial efecto que podría ejercer la fuente de exposición sobre las variables en estudio se consideró de 130 m en este trabajo.

La distancia existente desde el hogar de los niños hasta cada fuente de emisión de plomo al ambiente se calculó, almacenó y dividió en subgrupos con la finalidad de establecer la correlación "distancia del hogar-niveles de Pb-S" de los niños comprendida en las longitudes respectivas. Esto posibilita explicar la influencia que ejerce una variable sobre la otra (figura 2).

Identificación de las áreas con factores ambientales capaces de alterar los niveles de Pb-S

En este trabajo se adaptó el modelo que plantearon Bocco y Sánchez,¹⁹ quienes identificaron las áreas de efecto por la exposición de una población vulnerable al plomo ambiental en Tijuana, México. Este modelo demostró ser eficiente en el estudio mexicano, ya que suministró una clara visión geográfica de la distribución de las áreas de potencial riesgo de contaminación por plomo con el empleo de una técnica exploratoria. En este estudio se utilizó para definir las áreas con factores ambientales que pueden modificar los niveles de Pb-S en los niños.



FIGURA 1. UBICACIÓN ESPACIAL DE LA ZONA EN ESTUDIO Y DISTRIBUCIÓN DE LAS RESIDENCIAS DE LOS NIÑOS ESTUDIADOS

Este protocolo se basa en la caracterización de los niños estudiados en referencia a los factores que pueden influir en la acción tóxica del plomo y la aplicación del método de análisis de *buffer* a la zona en estudio. Para ello se midieron los niveles de Pb-S de cada niño, se valoró la influencia del sexo sobre di-

chos niveles, se determinó el lugar donde más tiempo permanece el niño y se ubicó en el plano geográfico la dirección de su residencia dentro del mapa en estudio.

Los radios fijos de 130 m se generaron a partir de la selección de las fuentes que podrían modificar la

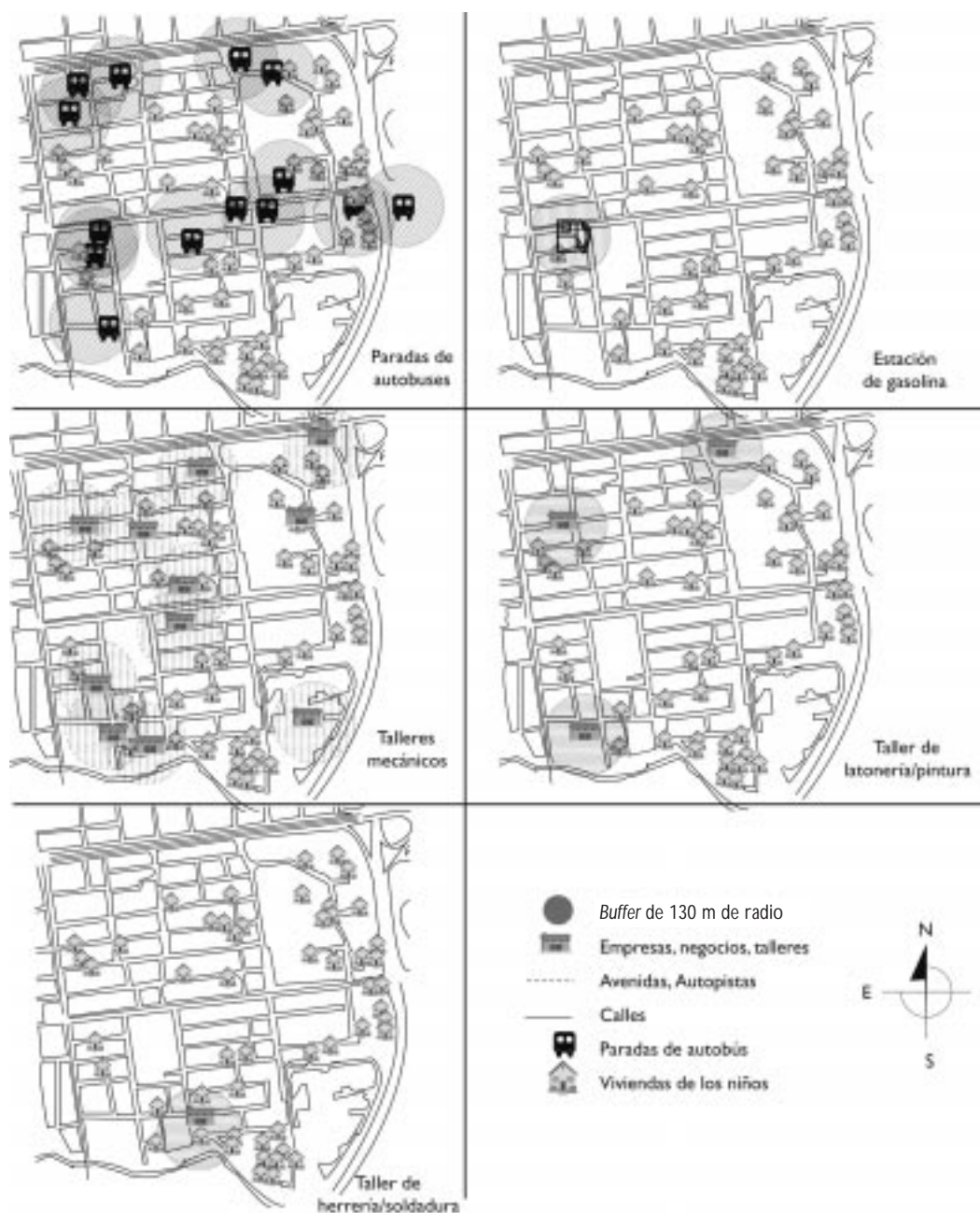


FIGURA 2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS FUENTES DE EMISIÓN DE Pb AL AMBIENTE CON BUFFERS DE ÁREA DE INFLUENCIA

magnitud de la contaminación con plomo dentro del *buffer*. Los casos como las vías de intenso tránsito vehicular no se tomaron en cuenta, puesto que se encontraban presentes en el entorno y dentro de toda el área en estudio, esto es, es un factor común para todos los niños seleccionados.

Análisis de laboratorio

La cuantificación del Pb-S se efectuó por espectrometría de absorción atómica, con un espectrofotómetro Perkin Elmer 3.110, y el método NIOSH 8003²⁰ bajo el control de calidad PICC-Pb-S inter-laboratorios del

Instituto Aragonés de Seguridad y Salud Laboral de Zaragoza, España. Se tomó como valor permisible de Pb-S el establecido por los CDC de Atlanta para la población infantil ($<10 \mu\text{g/dl}$).¹⁵

Análisis estadístico

Para llevar a cabo el análisis estadístico se empleó el programa *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS versión 10). Se realizaron los análisis descriptivo, exploratorio y de Kolmogorov-Smirnov en la determinación de la normalidad de la distribución de las variables y, de igual forma, las pruebas *t* de Student para una y dos muestras independientes, y el ANOVA de una vía en las comparaciones múltiples. El nivel de significación aceptado fue $p \leq 0.05$.

Resultados

La distribución de la población estudiada, según las fuentes de exposición, el sexo y los niveles de Pb-S, se registra en el cuadro I. Del grupo de niños evaluados, 25 (41.6%) eran mujeres y 35 (58.3%) varones, cuyas medias de Pb-S fueron $9.5 \pm 2.7 \mu\text{g/dl}$ y $11.1 \pm 3.1 \mu\text{g/dl}$, respectivamente; la media de Pb-S en los varones fue significativamente superior ($p = 0.042$) que la media de Pb-S observada en las mujeres.

Como se observa en el cuadro I, la media de Pb-S de la población total estudiada fue $10.5 \pm 3 \mu\text{g/dl}$ y el valor medio más elevado de este parámetro en dicha población fue el correspondiente a los niños que tenían, cercanos a sus hogares, los talleres mecánicos ($13. \pm 3.5 \mu\text{g/dl}$).

Al discriminar por sexo, el valor más elevado de Pb-S se encontró en los varones y las mujeres cuyos hogares están expuestos al taller de herrería/soldadura (15.3 ± 4 y $10.3 \pm 1.1 \mu\text{g/dl}$, respectivamente). Esta concentración de Pb-S en los varones, a su vez, fue mucho mayor ($p = 0.032$) que la media de Pb-S encontrada en general en el resto de los varones expuestos a las otras ocho fuentes (cuadro I).

El número de niños con valores de Pb-S superiores al límite permisible (VSLP) fue de 37/60 (61.7%) en toda el área estudiada. De éstos, 26/37 (70.2%) estaban localizados en el área de los *buffers* de exposición; esta proporción posee relevancia estadística ($p = 0.01$) respecto del número total de niños con VSLP; de igual manera, de estos 26 niños, 16 (61.5%) fueron varones y 10 (38.5%) mujeres.

El cuadro II describe la distribución de la población estudiada de acuerdo con la distancia (m) desde las residencias de los niños hasta las fuentes potenciales de exposición al plomo presentes en el área. La distancia máxima encontrada entre dos fuen-

Cuadro I
DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN ESTUDIADA SEGÚN LAS FUENTES DE EXPOSICIÓN,
EL SEXO Y LOS VALORES DE Pb-S ($\mu\text{g/dl}$) (VALENCIA, VENEZUELA, 2004)

Fuentes de exposición	Varones			Mujeres			Población total			Límites
	n	%*	$X \pm DE^{\dagger}$	n	%*	$X \pm DE^{\dagger}$	n	%*	$X \pm DE^{\dagger}$	
Paradas de autobús, talleres mecánicos y de latonería/ pintura	1	2.9	6				1	1.6	6	
Paradas de autobús, estaciones de gasolina, talleres mecánicos				1	4	8	1	1.6	8	
Talleres mecánicos y de herrería / soldadura	1	2.9	8	1	4	11	2	3.4	9.5 ± 2.1	6.6-12.4
Talleres mecánicos y de latonería / pintura				2	8	9.2 ± 6.7	2	3.4	9.2 ± 6.7	-18.4
Paradas de autobús y talleres mecánicos	1	2.9	6				1	1.6	6	
Taller de herrería / soldadura	3	8.6	$15.3 \pm 4^{\#}$	3	12	10.3 ± 1.1	6	10	12.8 ± 3.8	10.5-15.1
Paradas de autobús	11	31.4	10.4 ± 1.7	7	28	9.6 ± 2.9	18	30	10.1 ± 2.2	9.1-11.1
Talleres mecánicos	6	17	13.4 ± 3.8	1	4	12	7	11.6	13.2 ± 3.5	10.7-15.7
Estaciones de gasolina	1	2.9	11	1	4	11	2	3.4	11 ± 0	11-11
Total de niños residentes en área cubierta por <i>buffer</i>	24	68.6	11.3 ± 3.5	16	64	9.9 ± 2.7	40	66.6	10.7 ± 3.2	9.8-11.6
Total de niños residentes en área no cubierta por <i>buffer</i>	11	31.4	10.8 ± 1.9	9	36	8.8 ± 2.8	20	33.4	9.9 ± 2.5	8.9-10.9
Total	35	100	$11.1 \pm 3.1^{\&}$	25	100	9.5 ± 2.7	60	100	10.5 ± 3	9.7-11.2

* Porcentaje calculado con base en los totales de cada variable en estudio

[†] Media y desviación estándar de los valores de Pb-S

[§] Intervalo de confianza al 95% de la media de Pb-S

[#] Media de Pb-S significativamente superior ($p = 0.032$) a la media de Pb-S encontrada en general en el resto de los varones expuestos a las otras ocho fuentes

[&] Media de Pb-S significativamente superior ($p = 0.042$) a la encontrada en el número total de mujeres

Cuadro II
DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN ESTUDIADA DE ACUERDO CON LA DISTANCIA (M) DE LAS RESIDENCIAS
DE LOS NIÑOS RESPECTO DE LA UBICACIÓN DE LAS FUENTES DE EXPOSICIÓN A Pb PRESENTES
EN EL ÁREA (VALENCIA, VENEZUELA, 2004)

Fuentes de exposición	Varones			Mujeres			Población total			Límites	
	n	%*	X ± DE†	n	%*	X ± DE†	n	%*	X ± DE†		IC95%§
Paradas de autobús, talleres mecánicos y de latonería / pintura	1	2.9	89.1±31.4				1	1.6	89.1±31.4	53.6-124.6	53-109.9
Paradas de autobús, estaciones de gasolina, talleres mecánicos				1	4	86.1±28.6	1	1.6	86.1±28.6	53.8-118.4	65.7-118.9
Talleres mecánicos y de herrería / soldadura	1	2.9	93.2±19.3	1	4	88±15.4	2	3.4	90.6±3.6	85.7-95.5	88-93.2
Talleres mecánicos y de latonería / pintura				2	8	126.4±0	2	3.4	126.4±0		
Paradas de autobús y talleres mecánicos	1	2.9	62±13.1				1	1.6	62±13.1	43.9-80.1	52.7-71.3
Taller de herrería / soldadura	3	8.6	39.8±2.4#	3	12	114±22.5	6	10	76.9±43	42.5-111.3	28.3- 37.6
Paradas de autobús	11	31.4	89.3±27.5	7	28	46.6±40	18	30	72.7±38.3	55.1-90.3	14.5-122.1
Talleres mecánicos	6	17	116.5±14.4	1	4	97.8	7	11.6	113.8±14.9	102.8-124.8	95.1-130
Estaciones de gasolina	1	2.9	127.8	1	4	125.5	2	3.4	126.6±1.62	124.3-128.8	125.5-127.8
Total de niños residentes en área cubierta por <i>buffer</i>	24	68.6	90.5±31.3	16	64	82.4±43.6	40	66.6	87.3±36.4	76-98.6	14.5-130
Total de niños residentes en área no cubierta por <i>buffer</i>	11	31.4	>130	9	36	>130	20	33.4	>130		
Total	35	100		25	100		60	100			

* Porcentaje calculado con base en los totales de cada variable en estudio

† Media y desviación estándar en metros

‡ Intervalo de confianza al 95% de la media de la distancia (m) entre las fuentes de exposición y los hogares de los niños

Distancia media significativamente menor ($p=0.013$) a la distancia media general encontrada en el resto de los hogares de los niños varones expuestos a las otras ocho fuentes

tes fue de 129 m. Del total del área geográfica estudiada (854 300 m²), 76% de ella estaba incluido en los *buffers* correspondientes a las potenciales fuentes de emisión de plomo. Estas fuentes fueron paradas de autobús ($n=15$; 48.3%), talleres mecánicos ($n=10$; 32.4%), talleres de latonería/pintura ($n=4$; 12.9%), estaciones de gasolina ($n=1$; 3.2%) y taller de herrería/soldadura ($n=1$; 3.2%) (figura 2).

La media de Pb-S de los niños ubicados dentro de 76% de los *buffers* fue 10.7±3.2 µg/dl; resultó superior, pero no en grado significativo, a la obtenida en los niños situados fuera de esa área de potencial exposición (9.9±2.5 µg/dl) (cuadro I).

Se pudo determinar además, mediante la metodología del SGI, que los varones ya mencionados, cuyos hogares estaban cerca del taller de herrería/soldadura, tuvieron la distancia media menor entre esta fuente de exposición y sus hogares (39.8±2.4 m). Asimismo, esta cifra fue mucho menor cuando se comparó con los promedios de las distancias desde las fuentes de exposición restantes a los hogares de dichos varones. En las mujeres las fuentes de exposición más cercanas a sus viviendas fueron las paradas de autobuses (distancia media "fuente-viviendas": 46.6±40 m).

De la investigación efectuada para conocer el lugar de permanencia preponderante de los niños, se determinó que 57 niños (95%) comparten sus actividades diarias entre el colegio y el hogar, con una media de

Pb-S de 10.5±3 µg/dl. Los restantes tres (5%) permanecen en sus horas libres, aparte del horario del colegio, en otros lugares diferentes del hogar en actividades extraacadémicas, y registraron una media de Pb-S de 8.8±2.9 µg/dl. De los primeros 57, 35 (61.4%) presentaron VSLP de Pb-S.

Al estudiar a los 37 niños con VSLP de Pb-S por zona residencial, se halló que 10 viven en la zona de El Milagro, 11 en la Michelena, nueve en San Blas I, siete en San Blas II y ninguno en San Rafael. De los 10 niños cuyas residencias se encuentran en El Milagro, se advirtió que siete (70%) de estas viviendas están cubiertas por el *buffer* (cinco por el taller de herrería/soldadura y dos por talleres mecánicos).

La figura 3 muestra los *buffers* de los talleres de latonería/pintura, mecánicos y de herrería/soldadura que se localizan en el área de influencia de las residencias de los niños con VSLP de Pb-S; los niños que residen en la zona sur tuvieron una media de Pb-S (13.4±2.7 µg/dl) significativamente superior ($p=0.042$) en relación con el resto de los niños de toda el área (11.8±1.8 µg/dl).

Discusión

Hasta donde se realizó la revisión bibliográfica, no se pudieron identificar trabajos nacionales comparables con el presente estudio.

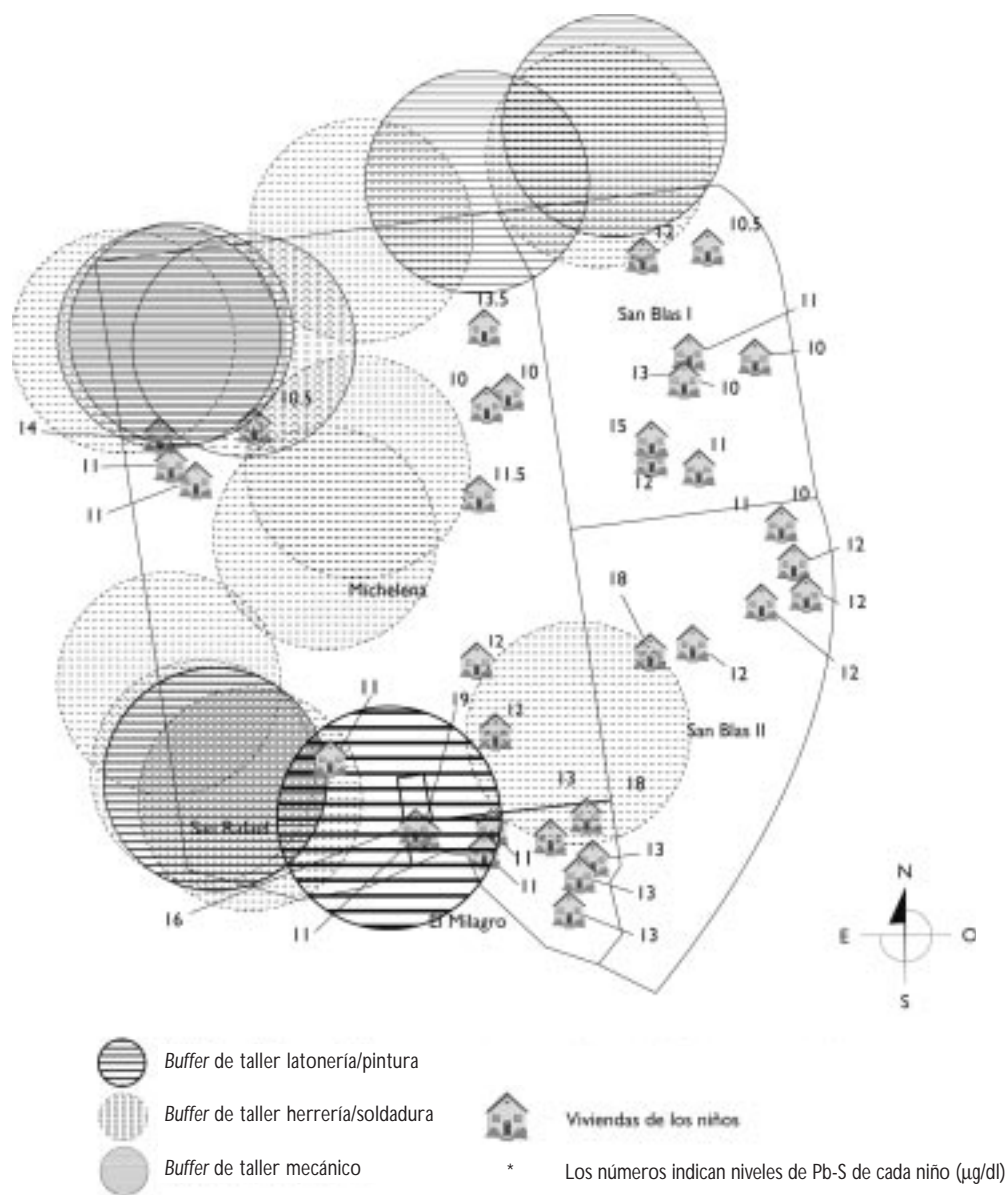


FIGURA 3. DIVISIÓN POLÍTICO-TERRITORIAL, BUFFER DE ÁREA DE INFLUENCIA DE LOS TALLERES Y UBICACIÓN DE LAS VIVIENDAS DE LOS NIÑOS CON LOS VSLP DE Pb-S (VALENCIA, VENEZUELA, 2004)

El SGI y el análisis de *buffer* permitieron vincular de forma exploratoria los niveles de Pb-S de una población infantil venezolana con ciertos parámetros de exposición ambiental presentes en el área, a partir de la selección geográfica de fuentes definidas como potenciales emisoras de plomo a la atmósfera.

El sistema de *buffer* utilizado identificó una diferencia en los niveles de Pb-S de los niños cuyas residencias estuvieron ubicadas dentro de los límites, respecto de los que se hallaron fuera de ellos.

La concentración media de Pb-S obtenida en este estudio ($10.5 \pm 3 \mu\text{g/dl}$) (cuadro I) es consistente con estudios previos que efectuaron los autores en niños de la ciudad de Valencia,¹² donde la media de Pb-S en la población total fue de $11.6 \pm 5.5 \mu\text{g/dl}$. Es importante señalar que el hallazgo de niveles muy superiores de Pb-S en los varones en comparación con las mujeres, coloca a los primeros en una posición de aparente vulnerabilidad que valdría la pena someter a mayores estudios. Por otra parte, este hallazgo es consistente con

los resultados reconocidos en el trabajo previo ya mencionado,¹² en el cual los varones tuvieron niveles del metal en sangre superiores a los de las mujeres, aunque no en proporción relevante.

A pesar de que la media de Pb-S hallada no constituye ningún nivel alarmante, es conocido que aun niveles consistentes con el máximo permisible podrían causar en la población infantil afectaciones de diversa índole, por ejemplo trastornos neuroconductuales, renales, etc.²¹⁻²⁴ Por otra parte, este promedio es todavía superior al de medias notificadas en países en los que no se usa gasolina con plomo, como Estados Unidos de América, donde los valores medios de Pb-S más bien experimentan un descenso.²⁵

El hallazgo de que los tres niños varones cercanos al único taller de herrería/soldadura identificado en el estudio (cuadro I) tuvieran no sólo la mayor concentración de Pb-S, sino la menor distancia media "fuente de exposición-hogar" del estudio (39.8 ± 2.4 m) (cuadro II) permite precisar algunas consideraciones: en el proceso productivo de la herrería y la soldadura se utilizan aleaciones de metales cuyos componentes contienen plomo. Este se utiliza para favorecer la maleabilidad y obtener características específicas que se requieran de los metales usados en dicho oficio. Según sea la temperatura de soldadura, se pueden producir humos tóxicos de plomo emitidos hacia el ambiente. Además, si las partes de hierro empleadas están recubiertas con pintura elaborada con plomo, esto puede representar otra fuente de exposición.¹⁶ Sin embargo, dado que el taller es uno solo y en virtud del bajo número de niños incluidos en esta categoría (tres), no se pueden efectuar inferencias definitivas sin conocer otros posibles factores contribuyentes a los niveles cuantificados de Pb-S. Es necesario estudiar otros indicadores, como dieta, concentraciones ambientales, hábitos, estilos de vida, etc., que permitieran, con un mayor grado de confiabilidad, atribuir esta concentración a las verdaderas causas de origen. Sin embargo, por la visita al mencionado taller, se determinó que las condiciones eran de higiene deficiente y escasas medidas de protección ambiental, lo cual podría significar un agravante como factor potencial de exposición al metal.

Es más relevante el hallazgo de la mayor concentración de Pb-S en la población total, en los niños cuyos hogares están próximos a los talleres mecánicos. Estos talleres fueron 10 y los niños expuestos a ellos fueron siete. En este sentido, es importante señalar que se trata de una práctica común en Venezuela, es decir, que en dichos talleres se lavan las piezas automotrices y las manos y cuerpo de los trabajadores con solventes, sobre todo con gasolina (de alto contenido de tetraetilo de plomo). A su vez, los envases que contienen estos solventes "limpiadores" y sus excedentes

se desechan sin normas que prevengan su exposición y por ende sus efectos adversos.

Al analizar la información suministrada en el cuadro I, no sólo se advierte que los niños cuyas residencias estaban en las cercanías de los talleres mecánicos registraron la media de Pb-S más elevada (13.2 ± 3.5 µg/dl), sino que al inferir estos resultados (a través del IC95%) (cuadro I) a cualquier niño de la población total alojada en las proximidades del mencionado factor de riesgo es posible informar valores de Pb-S comprendidos entre 10.7 y 15.7 µg/dl. Este hecho podría indicar que los talleres mecánicos situados en las proximidades de los hogares de los niños constituyen un predictor de la contaminación de plomo de riesgo mayor, en comparación con el resto de los demás factores identificados en esta investigación.

En referencia al hallazgo de que los niños cuya mayor permanencia de tiempo se extiende entre el colegio y el hogar, se obtuvo la media de Pb-S más alta (10.5 ± 3 µg/dl) respecto del resto cuya permanencia principal estaba entre el colegio y los lugares diferentes del hogar (8.8 ± 2.9 µg/dl); esto hace posible confirmar hasta qué punto es el hogar, con sus características ambientales, responsable de estas mayores concentraciones de Pb-S. Por otra parte, lo que se denominó en este estudio "otros lugares" debe estudiarse con posterioridad. No obstante, estos "otros lugares" de permanencia pueden estar alejados de la zona en estudio, con una menor contaminación que la zona de residencia. Más allá de esto, sería difícil establecer una relación hogar-niveles de Pb-S sin conocer datos adicionales. Entre estos datos figuran los siguientes: resultados de la vigilancia ambiental de agua potable, polvo y suelos de jardines, etc., que permitieran, con un nivel de confiabilidad aceptable, poder establecer un nexo.

En cuanto al área en estudio, a pesar de que existen en la zona centro-norte (figura 3) un mayor porcentaje de fuentes de exposición al plomo (66.7%) en relación con la zona sur (33.3%), es en esta última donde la media de Pb-S de los niños que obtuvieron VSLP fue significativamente superior ($p=0.0042$) a la encontrada en el resto de los niños ubicados en el área total en estudio. Este hecho podría deberse a que de los 12 niños de la zona sur, nueve (75%) habitan a una distancia menor de 130 m de la fuente de exposición (dentro del *buffer*), mientras que los restantes tres (25%) están a una distancia máxima de 70 m del *buffer* más cercano. Esta condición no se refleja en la zona centro-norte, donde existen sólo cinco niños (20%) que viven a menos de 130 m de la fuente de exposición (dentro del *buffer*). Los otros 20 (80%) alcanzan distancias de hasta 300 m del *buffer* más próximo. Este hallazgo permite aseverar, en primer lugar, que la elección de los

130 m como radio de *buffer* fue adecuada, puesto que demuestra una relación de relevancia estadística al comparar VSLP de Pb-S. En segundo lugar, se demuestra la versatilidad y utilidad de la herramienta del SGI, al permitir vincular de forma gráfica variables de distinta procedencia y sugerir una tendencia en la condición ambiental del área estudiada por emisión de plomo al ambiente.

Es posible delinear las siguientes conclusiones:

1. El SGI permitió identificar la relación entre algunas fuentes de exposición al plomo y los niveles detectados de Pb-S en la población que vive cercana a dichas fuentes.
2. Este estudio confirma que los SGI extienden las posibilidades de vigilar y prevenir enfermedades producidas por contaminantes ambientales (como el plomo), lo que posibilita formular la hipótesis del análisis espacial respecto de problemas por exposición a diversos agentes tóxicos.
3. Es necesario caracterizar en forma más detallada cada fuente de exposición, por ejemplo, con herramientas de vigilancia ambiental, que permitan determinar las concentraciones verdaderas de emisión del metal a la atmósfera. Estas indicarían el grado de emisión que genera cada fuente al ambiente.
4. De igual forma, es necesario realizar un estudio posterior que evalúe otros factores contribuyentes a los niveles de Pb-S en estos niños, entre ellos, hábitos higiénicos, dieta y, por ende, sus potenciales efectos adversos. Esto promovería el conocimiento de una característica tan importante en materia de acción tóxica, como tomar en cuenta la susceptibilidad individual de los niños frente a la acción del plomo. Es por esa razón que la vulnerabilidad de determinado sexo a condiciones de exposición específicas podría explicar hallazgos como los notificados aquí.

Referencias

1. Gonzalez EJ, Pham PG, Ericson JE *et al*. Tijuana childhood lead risk assessment revisited: validating a GIS model with environmental data. *Environ Manage* 2002;29(4):559-565.
2. Landrigan PJ. Strategies for epidemiologic studies of lead in bone in occupationally exposed populations. *Environ Health Perspect* 1991;91:81-86.
3. Tong S, Von Schimding YE, Prapamontol T. Environmental lead exposure: a public health problem of global dimensions. *Bull World Health Organ* 2000;78(9):1069-1077.
4. Silbergeld EK. Implications of new data on lead toxicity for managing and preventing exposure. *Environ Health Perspect* 1990;89:49-59.
5. Wang L, Xu SE, Zhang GD *et al*. Study of lead absorption and its effect on children's development. *Biomed Environ Sci* 1989;2(4):325-330.
6. Kurtin D, Therrell BL Jr, Patterson P. Demographic risk factors associated with elevated lead levels in Texas children covered by Medicaid. *Environ Health Perspect* 1997;105(1):66-68.
7. Sheppard E, Leitner H, McMaster RB *et al*. Gis-based measures of environmental equity: exploring their sensitivity and significance. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 1999;9(1):18-28.
8. Vine MF, Degnan D, Hanchette C. Geographic information systems: their use in environmental epidemiologic research. *Environ Health Perspect* 1997;105(6):598-605.
9. Maantay J. Mapping environmental injustices: pitfalls and potential of geographic information systems in assessing environmental health and equity. *Environ Health Perspect* 2002;110(Suppl 2):161-171.
10. Chakraborty J, Armstrong M. Assessing the impact of airborne toxic release on populations with special needs. *Profess Geographer* 2001;53(1):119-131.
11. Guevara E. Perspectiva universitaria de la situación ambiental y ecológica de Carabobo. *Tiempo Universitario UC* 2001;19:36-38.
12. Rojas M, Espinosa C, Seijas D. Asociación entre zonas de residencia, categorización socioeconómica y concentración de Pb en sangre, en una población infantil. Valencia, Venezuela. *Rev Saude Publica* 2003;37(4):503-9.
13. Espinosa C, Rojas M, Seijas D. Perfil socioeconómico de adultos monitorizados por exposición a plomo. CITUC período 1998-2000. *Toxicol Rev* 2003;20:27-32.
14. Seijas D, Rojas M, Espinosa C. Asociación entre el sector de procedencia, estrato socioeconómico y concentraciones de plomo en sangre en adultos y niños. CITUC período 1998-2000. Procedente del IV Congreso de Investigación y I Congreso de Postgrado de la Universidad de Carabobo; 2002 Nov 3-7; Valencia, Venezuela.
15. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Preventing lead poisoning in young children: a statement by the Centers for Disease Control. Atlanta, GA: US Department of Health and Human Services, Public Health Service, 1991.
16. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Enciclopedia de la Organización Internacional del Trabajo [serial online] 2001 [citado 2005 ene 20]. Disponible en: <http://www.mtas.es/Insht/Encoit/Index.htm>
17. Albert L. Introducción a la toxicología ambiental. Metepec: Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud/OPS/OMS, 1997.
18. Sui D, Giardino J. Applications of GIS in environmental equity analysis: a multi-scale and multi-zoning scheme study for the city of Houston, Texas, USA. *Proceeding GIS/LIS '95. GIS/LIS '95 Annual Conference and Exposition*; 1995 Nov 14-16; Nashville, USA.
19. Bocco G, Sanchez R. Identifying potential impact of lead contamination using a geographic information system. *Environ Manage* 1997;21(1):133-138.
20. NIOSH. Lead in blood and urine: Method 8003. En: Eller PM, Cassinelli ME (eds). *NIOSH Manual of analytical methods*, 4th ed. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, 1994.
21. Hu H. Revisión de los efectos de la exposición a plomo en sangre sobre la salud. En: Hernández M, Palazuelos E (eds). *Intoxicación por plomo en México: prevención y control*. México: Instituto Nacional de Salud Pública, 1995.
22. Pocock SJ, Smith M, Baghurst P. Environmental lead and children's intelligence: a systematic review of the epidemiological evidence. *BMJ* 1994;309(6963):1189-1197.
23. Schwartz J. Low-level lead exposure and children's IQ: a meta-analysis and search for a threshold. *Environ Res* 1994;65(1):42-55.
24. Min Y, Correa A, Stewart P. Parental occupational lead exposure and low birth weight. *Am J Ind Med* 1996;30(5):569-578.
25. Blood lead levels in young children-United States and selected states, 1996-1999. *Morb Mortal Wkly Rep* 2000;49:1133-1137.