



## Predicción del riesgo a la salud infantil en una zona contaminada por plomo

Villalobos Jáuregui A.,\* Valdés Perezgasga F.,\* García Vargas GG.,\*\* Alonso Chamorro J.\*\*\*

\* División de Estudios de Postgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de la Laguna, Blvd. Revolución y Cuauhtémoc s/n, Torreón, Coah. 27000, México.

\*\* Facultad de Medicina, Universidad Juárez del Estado de Durango, LaSalle y Sito Ugalde S/N, Col. Revolución, Gómez Palacio, Durango, 35050, México.

\*\*\* Grup de Sensors i Biosensors, Departament de Química, Universitat Autònoma de Barcelona, Campus Bellaterra, Bellaterra, Barcelona. 08228, España.

Correspondencia:  
Francisco Valdés Perezgasga,  
falco@faraday.itlalaguna.edu.mx

Artículo recibido: 22 de diciembre del 2005

Artículo aceptado: 7 de febrero del 2006.

### RESUMEN

Se estudió la contaminación por plomo en un área comprendida dentro de un radio de 2.8 km alrededor de la fundidora no ferrosa más grande de Latinoamérica. La dispersión del plomo dentro de esta área se valoró tomando cincuenta muestras de suelo y procesando la concentración de plomo con un sistema de información geográfica (SIG). Tanto los valores de los cincuenta puntos como los valores interpolados producidos por el SIG fueron empleados para predecir los posibles niveles de plomo en sangre de los niños de edades comprendidas entre 1 y 2 años. Estos resultados pueden servir de herramienta para las autoridades ambientales, las autoridades sanitarias y el público en general para aquietar los resultados de los esfuerzos de remediación y limpieza, para conocer el nivel de riesgo de la población infantil y para tomar las medidas precautorias correspondientes.

### Palabras clave:

Suelos contaminados, metales pesados, plomo, riesgos a la salud.

### ABSTRACT

The content of lead in soil within a 2.8 Km radius around the largest non ferrous smelter in Latin America has been investigated. The dispersion of lead within this area was assessed using a geographic information system. These results were used to predict lead blood levels of children living in the city of Torreón where the smelter is located. Although other metals were also present in the samples, particular attention was given to lead as it may cause various deleterious effects to the health of those exposed. In particular, lead is damaging to the neurological development of children. The results of lead levels in soil and the risk of lead levels in the blood of children are a useful tool for environmental and health authorities and for citizens at large to appraise the effectiveness of cleaning up efforts, to evaluate health risks and to adopt effective preventive measurements.

### Key Words:

Polluted soil, Heavy metals, Lead, Health risks.

### INTRODUCCIÓN

La medición de metales pesados en matrices reales ha provocado un interés creciente en los últimos años. Los metales pesados son especialmente in-

teresantes desde los puntos de vista ambiental y toxicológico por su alta toxicidad y su bioacumulación. El plomo es un agente tóxico que afecta a todos los sistemas del cuerpo humano<sup>1</sup>. En los niños, el plomo reduce el desarrollo intelectual, el

crecimiento y la capacidad auditiva, causa anemia y provoca problemas de comportamiento y déficit de atención<sup>2</sup>. A valores extremadamente altos de exposición, el plomo puede causar daño cerebral severo y la muerte. Los niños son especialmente susceptibles a la intoxicación por plomo debido a que se exponen y absorben más de este metal que los adultos y también porque su sistema nervioso aún se está desarrollando<sup>2</sup>.

El plomo es uno de los contaminantes industriales más importantes por su uso amplio y por los daños que causa a la salud<sup>3,4</sup>. Esta situación ha motivado la expedición de leyes y reglamentos para la protección del medio ambiente y de la salud pública. La literatura<sup>5</sup> explica la presencia de altas concentraciones de plomo en el suelo por diversas causas entre las que se cuentan la demolición de edificios que contienen este metal, el uso de plaquitas basados en plomo, la disposición indebida de baterías de plomo y sus empaques, las emisiones de las fundidoras y de los incineradores de desechos, la migración de los desechos de las operaciones mineras, el descascaramiento o la remoción intencionada de pinturas basadas en plomo y las emisiones de vehículos propulsados por gasolina con plomo.

En el presente trabajo se evaluó la concentración de plomo en suelo alrededor de una fundidora primaria de plomo, reconocida como la más grande en América Latina y la cuarta más grande en el mundo, fundada en 1900. Está localizada en la ciudad de Torreón, Coahuila, en el centro-norte de México en la longitud W 103°26'33" y latitud N 25°32'40" a 1120 msnm. Se localiza en el centro del Desierto Chihuahuense y tiene una precipitación promedio anual menor a los 250 mm. Las tormentas de polvo son frecuentes. Su clima puede catalogarse como semiárido y presenta facilidades para la dispersión de contaminantes.

La preocupación por el impacto a la salud pública producto de la operación de la fundidora puede encontrarse en la literatura a partir de 1962 cuando se reportó la contaminación por arsénico de un pozo de agua cerca de la planta<sup>6</sup>. En 1997 se realizó un estudio de evaluación de la exposición a plomo en niños que provocó gran preocupación pública causando que las autoridades mexicanas ordenaran a la empresa el control de las emisiones y acciones para limpiar las áreas circundantes, contaminadas por el funcionamiento de la planta durante casi un siglo.

En 2001, los Centros para el Control y la Prevención de las Enfermedades (Centers for Disease Con-

trol and Prevention, CDC) realizaron un estudio en Torreón para definir el alcance del problema<sup>6</sup>. Encontraron que el mejor predictor de las concentraciones de plomo en la sangre de los niños estudiados era la distancia que había entre el hogar de ese niño y la fundidora. También encontraron que el impacto de la contaminación se proyectaba a los niños que vivían a una distancia de hasta 4.5 km de la fundidora. Flores y Albert<sup>7</sup> revisaron la situación del plomo ambiental en México, incluyendo una valoración crítica de la situación prevaleciente en Torreón. Más recientemente, Kordas y sus colaboradores publicaron un estudio de los efectos del plomo en la salud y en las habilidades cognitivas de los niños de Torreón<sup>10</sup>.

México carece de normas y guías para el control de la contaminación y de los sitios contaminados. Por ejemplo, en México no existe una norma oficial para el plomo en el polvo, en el suelo o en el interior de los hogares. La Norma Oficial Mexicana para niveles de plomo en la sangre de niños y mujeres embarazadas no fue emitida sino hasta 1999 como una respuesta emergente a la situación prevaleciente en Torreón. La norma definitiva apenas apareció en 2002<sup>11</sup>. Aun así, es necesario medir los niveles de contaminación en sitios como Torreón con el objeto de estimar los riesgos a la salud de las personas expuestas.

En el presente trabajo describimos las concentraciones de plomo en suelo, resultado de un monitoreo realizado en Torreón durante 2004. Los datos que resultaron de cincuenta puntos de muestreo fueron alimentados a un sistema de información geográfica (MiraMon, CREAM, Barcelona) para tener una idea de la distribución del plomo en los suelos de la ciudad. Usando el modelo Integrado de Evaluación de la Exposición basado en la Ingesta Biocinética (Integrated Exposure Uptake Biokinetic o IEUBK) se obtuvo una distribución probabilística de los niveles de plomo en la sangre de los niños de 1 a 2 años de edad de la ciudad de Torreón.

## MÉTODOS

### Plan de investigación

Se escogieron cincuenta puntos para muestreo en la ciudad de Torreón. Los puntos fueron escogidos alrededor de la planta fundidora. Esto se hizo asumiendo que la fundidora era la principal contribuyente de las emisiones<sup>12</sup>. Las coordenadas de la fundidora se registraron usando un aparato personal del sistema de posicionamiento global (GPS,

Garmin III, Olathe, Kansas) usando un punto equidistante del antiguo patio de concentrados, la planta de sinterización y la planta de fundición primaria de plomo.

La selección de los sitios de muestreo se basó en una distribución radial de la distancia del punto de muestreo con la fundidora. Además, se consideraron un conjunto de características que incluyen el acceso público e irrestricto al punto de muestreo y la presencia de suelo expuesto en el sitio. En la Figura 1 se muestra la distribución de los puntos de muestreo con el foco de emisión al centro. No hay sitios de muestreo al sur y al suroeste de la planta debido a la presencia de una cadena montañosa despoblada.

### Muestreo

El muestreo se llevó a cabo siguiendo un procedimiento estándar (ASTM Designation E 1727-99)<sup>13</sup>, en particular el procedimiento de cuchareo de suelo (soil scooping procedure) usando un marco de acrílico de 0.15 x 0.15 m para delimitar el campo de muestreo. Las muestras se levantaron con una cuchara de acero inoxidable hasta llegar a una profundidad aproximada de 0.0254 m. El suelo colectado se puso en un contenedor estéril de polipropileno para muestras biológicas (DELTALAB, Rubi, España). En cada muestreo se usó un par de guantes de látex para reducir el riesgo de contaminar una muestra con material de la muestra anterior. Tanto la cuchara como el marco de acrílico se enjuagaron con agua deionizada y fueron limpiados con una toalla de papel antes de cada muestreo.

### Procesamiento de la muestra

Una vez en el laboratorio, las muestras se secaron en un horno eléctrico a 278 K (100° C) durante 24 h. Se dejaron enfriar a la temperatura ambiente y cada muestra se tamizó usando una malla de bronce con apertura de 1 mm para retirar piedrecillas, fragmentos de vidrio y otros desechos con un diámetro mayor a 1 mm.

La porción tamizada se llevó a un proceso de cuarteo<sup>14</sup> con la finalidad de reducir el volumen de muestra sin afectar la representatividad de la misma. La fracción obtenida de este proceso, se molió en un molino de bolas durante 30 minutos para obtener una muestra más homogénea. Finalmente, la muestra molida se tamizó y la fracción con un tamaño de partícula menor a 150 µm (tamaño

menor a malla 100) se llevó al proceso de digestión y análisis.

### Digestión de la muestra

La digestión se hizo siguiendo una adaptación del procedimiento EPA 3051, de la siguiente manera:

5 g de la muestra se digirieron con 10 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado dentro de un recipiente de Teflón y en un horno de microondas a una presión de 120 psi durante 15 minutos

Cuando se enfrió el recipiente a la temperatura ambiente, su contenido se filtró y el sólido remanente se desechó después de enjuagarlo dos veces con agua deionizada. Luego se añadió agua deionizada a la muestra digerida hasta completar un volumen de 50 ml.

El proceso se repitió por triplicado.

Para propósito de calibración, se digirió un blanco de control por cada diez muestras.

### Análisis de la muestra

El análisis del plomo se llevó a cabo con un espectrómetro de emisión óptica por plasma acoplado inductivamente (ICP-OES), de la siguiente manera:

Cada muestra digerida se analizó por triplicado. Se analizó un blanco cada tres muestras digeridas.

Se calculó la desviación estándar de cada muestra digerida.

### Análisis de los resultados

Los resultados de la concentración del plomo en los suelos muestreados fueron alimentados al sistema de información geográfica (MiraMon, CREAM, Barcelona) para obtener una imagen de la distribución probable del plomo en los suelos de la ciudad de Torreón. El sistema de información geográfico ubica los puntos de muestreo, les asigna los valores de concentración de plomo correspondiente e interpola estos valores para obtener la concentración probable del plomo en toda la superficie, expresando estos valores como un continuo representado por una serie de colores que codifican diferentes rangos de concentración del plomo. La Figura 2 muestra geográficamente la probable distribución del plomo en los suelos de la ciudad de Torreón que resultó de haber procesado los datos del Cuadro 1.

## PUNTOS DE MUESTREO DE SUELO EN TORREÓN

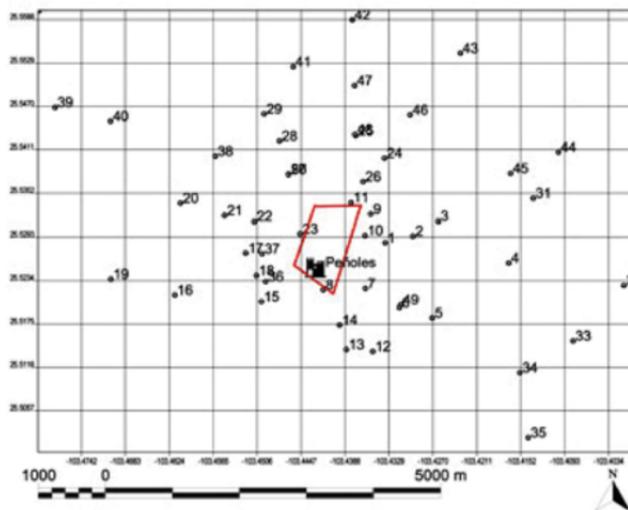


Figura 1. Mapa de los sitios del muestreo de 2004 en Torreón. Junto con los 50 puntos de muestreo, se presenta el área que ocupa el polígono principal de Met Mex Peñoles, y el punto definido como foco de emisión. El mapa se encuentra dado en coordenadas rectangulares de Longitud - Latitud, con Datum WGS-84. Los empalmes de puntos pueden revisarse en el Cuadro 1.

## DISTRIBUCIÓN PROBABILÍSTICA DE PLOMO EN SUELO DE TORREÓN

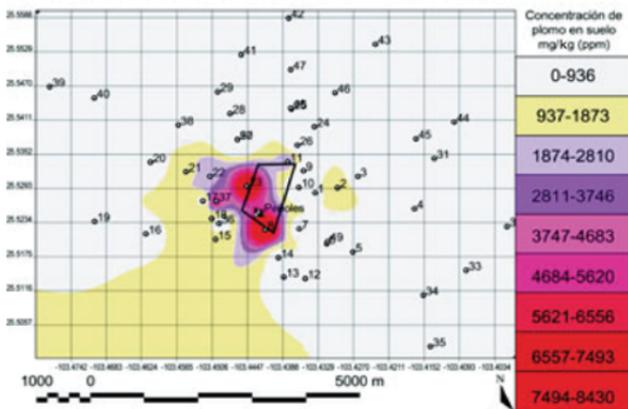


Figura 2. Distribución probabilística de plomo en suelo de Torreón. Datos provenientes del análisis de las muestras de suelo de 2004. Concentración de muestras en base seca.

**Cuadro 1.** En el presente cuadro se muestran las coordenadas de los sitios de muestreo de 2004, junto con la distancia al foco de emisión de cada sitio de muestreo, así como los resultados del análisis del plomo total en las muestras (base seca), la desviación estándar relativa (RSD) obtenida del análisis de cada muestra y el valor de plomo en sangre esperado para niños con edades entre 1 y 2 años que vivan en el sitio de acuerdo al modelo IEUBK.

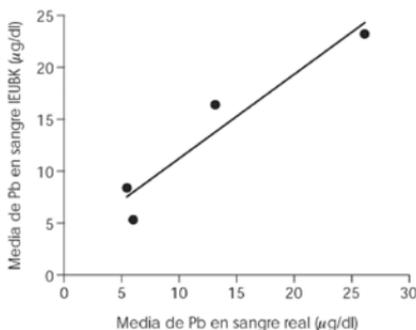
M	Latitud	Longitud	Distancia (m)	Plomo en suelo (mg/kg)	RSD (%) Muestras de suelo	Plomo en sangre (µg/dl)
1	25.52858	-103.43344	1024	190	0.8	11.1
2	25.52947	-103.42973	1401	1700	1.2	16.8
3	25.53144	-103.42632	1813	530	2.0	7.7
4	25.52582	-103.41685	2610	120	2.0	3.2
5	25.51836	-103.42714	1763	250	7.0	4.7
6	25.51979	-103.43152	1303	190	1.0	4
7	25.52239	-103.43612	752	680	3.0	9.1
8	25.52221	-103.44178	378	8060	4.0	41.8
9	25.53240	-103.43541	1077	180	2.0	3.9
10	25.52955	-103.43614	823	210	2.0	4.3
11	25.53397	-103.43804	1071	2280	5.0	20.2
12	25.51379	-103.43511	1507	620	31.0	8.5
13	25.51405	-103.43868	1332	490	2.0	7.3
14	25.51737	-103.43956	944	580	5.0	8.1
15	25.52056	-103.45007	910	1420	1.3	14.9
16	25.52148	-103.46171	1955	720	4.0	9.4
17	25.52717	-103.45220	959	850	5.0	10.6
18	25.52411	-103.45074	797	1410	0.0	14.9
19	25.52365	-103.47030	2781	230	0.5	4.5
20	25.53388	-103.46093	2055	180	3.0	3.9
21	25.53222	-103.45502	1450	1680	5.0	16.7
22	25.53141	-103.45103	1069	2690	2.0	22.4
23	25.52979	-103.44488	545	7260	0.6	39.4
24	25.54000	-103.43357	1876	490	0.6	7.3
25	25.54302	-103.43741	2029	450	0.5	6.9
26	25.53680	-103.43642	1423	410	10.0	6.5
27	25.53782	-103.44644	1425	<100	-	3
28	25.54230	-103.44767	1942	180	7.0	3.9
29	25.54602	-103.44971	2386	270	0.9	5
30	25.54026	-103.45629	2140	640	2.0	8.7
31	25.53454	-103.41354	3126	<100	-	3
32	25.52277	-103.40140	4170	180	2.0	3.9
33	25.51523	-103.40821	3663	<100	-	3
34	25.51094	-103.41536	3202	210	2.0	4.3
35	25.50207	-103.41422	3865	340	2.0	5.7
36	25.52333	-103.44950	702	110	0.5	3.1
37	25.52711	-103.45000	748	4760	0.4	31.2
38	25.54026	-103.45629	2140	190	2.0	4
39	25.54692	-103.47781	4245	130	4.0	3.3
40	25.54500	-103.47035	3516	<100	-	3
41	25.55244	-103.44582	3013	180	15.0	3.9
42	25.55879	-103.43788	3734	100	2.0	3
43	25.55427	-103.42336	3747	370	4.0	6
44	25.54080	-103.41019	3703	160	7.9	3.7
45	25.53794	-103.41660	2980	<100	-	3
46	25.54585	-103.43011	2616	150	3.0	3.6
47	25.54985	-103.43754	2765	720	1.0	9.4
48	25.54323	-103.43750	2063	180	3.0	3.9
49	25.52018	-103.43135	1294	420	6.0	6.6
50	25.53776	-103.44646	1425	120	2.0	3.2

**Cuadro 2.** Comparación de las medias de las determinaciones de plomo en sangre realizadas en niños de las colonias en estudio con los valores de plomo en sangre derivado del modelo IEUBK con base a los valores de plomo en polvo, de las mismas colonias de la ciudad de Torreón, Coahuila.

Colonia	Media [Pb] en suelos (ppm)	Media de [Pb] en sangre por IEUBK ( $\mu\text{g}/\text{dl}$ )*	Media de [Pb] en sangre real ( $\mu\text{g}/\text{dl}$ ) $\diamond$
Centro de Torreón (2° cuadro)	440	5.92	5.30
Eduardo Guerra	385	5.42	8.40
Primero de mayo	1782.5	13.05	16.40
Luis Echeverría	4770	26.05	23.2

\*. Calculado como media aritmética de las concentraciones de plomo en sangre predichos a partir de los resultados de [Pb] en suelos realizados por colonia en 2004.

$\diamond$ . Calculado como media aritmética a partir de los muestreos de sangre del programa de metales realizados por colonia en los primeros 4 meses de 2004. Plomo en sangre determinado por voltametria anódica. El análisis de correlación bivariado entre los resultados de plomo en sangre predichos por el modelo IEUBK y los valores reales son significativos, con una  $p < 0.05$ , con un valor de  $r$  de Pearson = 0.958.



**Figura 3.** Comparación de las medias de las determinaciones de plomo en sangre realizadas en niños de las colonias en estudio con los valores de plomo en sangre derivado del modelo IEUBK con base a los valores medios de la concentración de plomo en suelos, de las mismas colonias de la ciudad de Torreón, Coahuila.

Para evaluar el impacto que las concentraciones de plomo en suelo de Torreón representan para la población, se empleó el modelo IEUBK. El uso de este modelo se ha recomendado para evaluaciones preliminares de riesgo por la Oficina de Residuos Sólidos y Respuestas de Emergencia (OSWER, por sus siglas en inglés) para ser empleado en los sitios contaminados de los Estados Unidos de Norteamérica (CERCLA sites)<sup>13</sup>. El desarrollo y el empleo del IEUBK incluyó una validación independiente y evaluaciones respectivas por pares<sup>14</sup>. Este modelo interrelaciona cuatro módulos: i) exposición, ii) ingesta, iii) biocinética, y iv) probabilidades de distribución. El modelo IEUBK permite estimar,

para un niño hipotético o una población de niños, una distribución plausible de PbS alrededor de una media geométrica. La media geométrica de PbS se predice a partir de la información disponible sobre la exposición ambiental a plomo del niño. Para predecir la distribución, el modelo estima el riesgo (la probabilidad) de que un niño o una población de niños tengan niveles de PbS que excedan un cierto nivel crítico (usualmente  $10 \mu\text{g}/\text{dl}$ ). Es importante enfatizar que el modelo IEUBK no intenta sustituir las mediciones de plomo en sangre ni a las evaluaciones médicas para un niño específico en riesgo. Sin embargo, es útil para estimar en forma preliminar los niveles probables de PbS en una población de niños a partir de las mediciones ambientales de plomo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se muestra una lista de los cincuenta puntos de muestreo incluyendo sus coordenadas y la distancia entre el punto de muestreo y el foco de emisión junto con los resultados del análisis de plomo en el suelo y el modelo de probable concentración de PbS en niños con edades entre 1 y 2 años. La media geométrica de las concentraciones de plomo en suelos fue de 389 ppm, con un intervalo de 100 ppm a 8,060 ppm como valores mínimo y máximo, respectivamente. Con la idea de analizar la relación existente entre las distancias de los puntos de muestreo con respecto al centro de la fundición (que tuvieron una distribución normal) y las concentraciones de plomo en suelo tuvieron una distribución log-normal, se decidió estudiar la correlación de estas dos variables por un método de correlación no paramétrica (rho de Spearman). Este análisis mostró una correlación ne-

### DISTRIBUCIÓN PROBABILÍSTICA DE PLOMO EN SANGRE EN NIÑOS DE TORREÓN, CON RANGO DE EDADES DE 1 A 2 AÑOS.

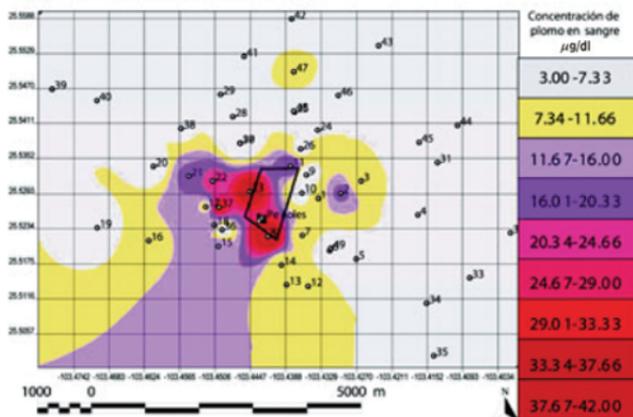


Figura 4. Distribución probabilística de plomo en sangre en niños de Torreón. Modelo IEUBK aplicado a los resultados de plomo en suelos de 2004, en niños con 1 a 2 años de edad.

gativa (-0.604) que fue estadísticamente significativa ( $p < 0.0001$ ). Esto quiere decir que las concentraciones de plomo en suelo se incrementan significativamente conforme los puntos de muestreo fueron más cercanos a la fundidora, y apoya el supuesto de que la fundición es la principal fuente contribuyente a los niveles de plomo en suelo.

En este estudio, se incluyeron como variables para el modelo IEUBK, las concentraciones de plomo en suelo. Fuera de esta variable, el modelo se evaluó con los valores establecidos automáticamente por el modelo para las otras medidas de exposición ambiental<sup>14</sup>. Brevemente, la concentración ingresada de plomo en aire fue de  $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , los valores de plomo en dieta ingresados dependieron de la edad y fueron de  $5.53\text{-}7.00 \mu\text{g}/\text{día}$ , la concentración de plomo en agua ingresada fue de  $4.0 \mu\text{g}/\text{l}$ . Las variables fisiológicas ingresadas fueron las que automáticamente generó el modelo. Los valores calculados de plomo en sangre se estimaron para el rango de edades entre 1 y 2 años. En el Cuadro 1 se muestran los valores posibles de PbS para niños viviendo en cada uno de los cincuenta puntos muestreados junto con la dirección, coordenadas y distancia entre el punto de muestreo y el foco de emisión.

Si bien este modelo ha sido ampliamente validado en Estados Unidos de Norteamérica, para

los fines de este trabajo se hizo una prueba de correlación entre los valores de plomo en sangre predichos por el modelo IEUBK y los obtenidos en los muestreos regulares del programa de metales en el año 2004, en cuatro colonias de la ciudad (Cuadro 2).

Estos resultados se analizaron por correlación bivariada, obteniéndose un valor de  $r$  de Pearson de 0.958, y un valor de  $p < 0.05$ , que muestran una relación estadísticamente significativa. Cuando los resultados se analizan por un modelo de regresión lineal (Figura 3), se obtiene un valor de pendiente de 0.80486. El que el valor de la pendiente sea menor a 1.0, indica una tendencia a la subestimación de los valores de plomo en sangre predichos por el modelo IEUBK, con respecto a los valores obtenidos en la población de las colonias. Esta subestimación puede deberse a que se utilizaron los valores de baja exposición en las otras variables que alimentan al modelo (ingesta de Pb por alimentos, inhalación de Pb y otras fuentes de exposición), esto se calculó así debido a que no existen determinaciones comparables en estos medios ambientales. Sin embargo, nuestros resultados muestran que aun con estos vacíos en las variables del modelo, el empleo del modelo para predecir los niveles de plomo en sangre de los niños fue útil y permite una evaluación preliminar del riesgo a partir de valores de plomo en suelo.

La correlación significativa entre los valores predichos y los reales, a pesar de no ajustar las otras rutas de exposición se puede explicar con base en que en el escenario de exposición de la ciudad de Torreón, la ingesta de polvo contaminado es la principal ruta de exposición en niños.

La Figura 4 muestra la distribución de PbS para cualquier niño de 1 a 2 años de edad viviendo en cualquier punto de la superficie muestreada. Esta figura resultó de alimentar los cincuenta valores de PbS del Cuadro 1 al sistema de información geográfica. El uso de sistemas de información geográfica para desplegar la dispersión de un contaminante en un área es una herramienta útil para interpretar datos y poder ver relaciones, patrones y tendencias que no pueden apreciarse cuando los datos se presentan en forma de datos discretos o tablas. Esta ventaja puede apreciarse comparando el Cuadro 1 y la Figura 2. En el presente trabajo se ha añadido otra capa a esta forma de desplegar un conocimiento dado. Después del tratamiento correspondiente, la Figura 4 traduce los datos de contaminación a una distribución geográfica de un problema de salud pública.

El mapa de la Figura 4 puede convertirse en una herramienta útil para diversos actores en un problema de contaminación como el de Torreón. De esta forma los encargados del manejo y administración de los riesgos a la salud podrán contar con una visión objetiva y científicamente sólida. Ilustra la distribución de los riesgos derivados de la exposición a contaminantes que pueden presentar efectos adversos a la salud en la población infantil, que es más sensible a la contaminación por plomo. También, las instancias encargadas del cuidado del medio ambiente podrían contar con una herramienta que les permitiría priorizar los trabajos de limpieza a desarrollar en diferentes puntos de la ciudad. Los ciudadanos mismos pueden conocer el posible impacto a la salud de sus hijos dependiendo del sitio en el que vivan.

En suma, la combinación de mediciones de niveles de contaminantes, los sistemas de información geográfica, y modelos como el IEUBK permiten una mejor apreciación de problemas como el de la contaminación por plomo en Torreón. Representa la fusión de herramientas del ámbito instrumental, analítico, computacional y médico que dan como resultado una mejor valoración de un problema medioambiental y de salud pública, lo que puede auxiliar a lograr una mejor atención a este problema.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Preventing lead poisoning in young children: a statement by the Centers for Disease Control. Centers for Disease Control, Atlanta, Georgia: US Department of Health and Human Services, Public Health Service, 1991.
2. Toxicological profile for lead. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Atlanta: ATSDR, 1999.
3. Inorganic lead environmental health criteria. World Health Organization, Geneva, 1995: 165.
4. Hoffman DJ, Rathner BA, Burton GA, Cairns J. Handbook on Ecotoxicology. CRC Press, Inc (Boca Raton, FL) 1995.
5. Burgoon DA, Brown SF, Menton RG. Literature review of sources of elevated soil-lead concentrations. In: Beard ME, Allen Iske SD, editors, Lead in Paint, Soil and Dust: Health Risks, Exposure Studies, Control Measures, Measurement Methods, and Quality Assurance, ASTM special technical publication (Ann Arbor, MI), 1995: 76-91.
6. Castellano L, Viniestra G, Eslaya R, Alvarez J. El Arsenicismo en la Comarca Lagunera. Salud Publ Mex, 1964. VI: 375-385.
7. García VGG, Rubio AM, Del Razo LM, Borja AV, Vera AE, Cebrán ME. Lead exposure in children living in a smelter community in Region Lagunera, Mexico. Journal of Toxicology and Environmental Health. Part A., 2001; 62: 417-429.
8. Albalak R, Hart-McElroy R, 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. Archives of Environmental Health, 2003; 58: 172-183.
9. Flores J, Albert LA. Environmental lead in Mexico, 1990-2002. Rev. Environ. Contam Toxicol, 2004; 181: 37-109.
10. Kordas K, Lopez P, Rosado JL, García-Vargas G, Alatorre J, Ronquillo D, Cebrán ME, Stoltzfus RJ. Blood Lead, Anemia, and Short Stature Are Independently Associated with Cognitive Performance in Mexican School Children. J Nutr, 2004; 134: 363-371.
11. Norma Oficial Mexicana NOM-199-SSA1-2000, Salud ambiental. Niveles de plomo en sangre y acciones como criterios para proteger la salud de la población expuesta no ocupacionalmente. Secretaría de Salud. Diario Oficial de la Federación, México, 18 de octubre de 2002.
12. Benin AL, Sargent JD, Dalton M, Roda S. High Concentrations of Heavy Metals in Neighborhoods Near Ore Smelters in Northern Mexico. Environmental Health Perspectives, 1999; 107: 279-284.
13. Standard practice for field collection of soil samples for lead determination by atomic spectrometry techniques. Designation E 1727-99. ASTM, 2000.
14. Procedures for laboratory analysis of surface/bulk dust loading samples. Appendix C.2. AP-42 US Environmental Protection Agency, US-EPA 1995.
15. Revised Interim Soil Lead Guidance for CERCLA Sites and RCRA Corrective Action Facilities. OSWER Directive No. 9355.40E12. U.S. Environmental Protection Agency, US-EPA. Office of Solid Waste and Emergency Response. Washington, DC., 1994.
16. The integrated exposure uptake biokinetic model for lead in Children (IEUBK). US Environmental Protection Agency, US-EPA. Edited by the Office of Solid Waste and Emergency Response, US-EPA. Washington, DC., 2002: 1-19.