

# EXPOSICIÓN A PLOMO AMBIENTAL Y RENDIMIENTO ESCOLAR EN NIÑOS Y NIÑAS DE ANTOFAGASTA

## EXPOSURE TO ENVIRONMENTAL LEAD AND SCHOOL PERFORMANCE IN CHILDREN OF ANTOFAGASTA

### **MG. MARCIA JARPA HERNÁNDEZ**

Facultad de Recursos Naturales y Ciencias Silvoagropecuarias  
Universidad Iberoamericana de Ciencias y Tecnología. Santiago, Chile.  
marcia.jarpa@gmail.com

### **MG. TERESA DEL CARMEN VARGAS OLEA**

Junta Nacional de Jardines Infantiles. Concepción, Chile.  
tvargas@junji.cl

### **MG. MARÍA PÍA MUÑOZ QUEZADA**

Facultad de Medicina, Universidad de Chile. Santiago, Chile.  
mariapia.7@hotmail.com

### **DRA. VERÓNICA PAZ IGLESIAS ALAMOS**

Facultad de Medicina, Universidad de Chile. Santiago, Chile.  
viglesia@med.uchile.cl

DOI: <http://doi.org/10.29035/ucmaule.52.25>

## **RESUMEN**

En un estudio realizado en Antofagasta, se reportó que la concentración de plomo sanguíneo en niños, que estuvieron expuestos a un acopio de plomo, se relacionaba con un menor coeficiente intelectual. Esta investigación tuvo como propósito determinar la asociación entre la concentración de plomo sanguíneo, rendimiento escolar y la posibilidad de repetir el curso. El método utilizado fue el análisis secundario de datos. Para evaluar la asociación se utilizaron los modelos de regresión lineal y de regresión logística. Entre los resultados

obtenidos destacan que la mediana de plomo sanguíneo fue de 3,3  $\mu\text{g}/\text{dl}$  (RIC 2,1 –4,4). Se observó una relación inversa y significativa con el promedio de lenguaje ( $\beta = -0,06$ ; IC95% =  $-0,117$  a  $-0,013$ ) y con repetición de curso (OR = 1,24; IC 95% = 1,014 a 1,533). Se concluyó que los niveles menores a 5 $\mu\text{g}/\text{dl}$  de plomo en sangre se asocian con menor rendimiento académico.

**Palabras clave:** plomo sanguíneo, logros académicos, niños, exposición ambiental.

## ABSTRACT

In a study carried out in Antofagasta, it was reported that blood lead level in children exposed to lead from a storage site was associated to a lower IQ. The purpose of this study was to evaluate the association between blood lead concentration, school performance and the possibility of recurrence of course. The method used was the secondary analysis of data. To evaluate association linear regression models and logistic regression models were used. Highlights of the results obtained include the median blood lead level was

3.3  $\mu\text{g} / \text{dl}$  (ICR 2.1 – 4.4). An inverse and significant association was observed with the mean of language ( $\beta = -0.06$ , 95%CI =  $-0.117$  to  $-0.013$ ), and with repeat course (OR = 1.24, 95% CI = 1.014 to 1.533). In conclusion blood lead levels less than  $5\mu\text{g}/\text{dl}$  are associated with effects on the academic performance.

**Key words:** blood lead level, academic achievement, children, environmental exposure.

## INTRODUCCIÓN

El plomo es una de las principales causas de intoxicación pediátrica prevenible (Leal-Escalante, Baltazar-Reyes, Lino-González, Palazuelos-Rendón, & Meneses-González, 2007).

En la mayoría de los infantes intoxicados por plomo, los impactos son subclínicos. Como sucede con muchos tóxicos ambientales, los niños en edad temprana son más susceptibles que los adultos, debido a su comportamiento exploratorio y porque tienden a ingerir y a absorber más plomo en relación con su talla (Jiménez-Gutiérrez, Romieu, Ramírez-Sánchez, Palazuelos-Rendón, & Muñoz-Quiles, 1999, Matte, 2003).

Al momento de levantar la información para el presente estudio, el Centro de Control y Prevención de Enfermedades (Acrónimo en inglés CDC por *Center for Disease Control and Prevention*) tenía definido como nivel de preocupación concentraciones de plomo sanguíneo sobre  $10 \mu\text{g}/\text{dl}$ , sin embargo a partir del 2012, el CDC actualizó a  $5 \mu\text{g}/\text{dl}$  el valor de referencia para identificar a niños expuestos a plomo que requieren manejo (CDC, 2017).

Por otro lado, se ha documentado que la exposición al plomo en concentraciones menores a 10 µg/dl se relaciona con la disminución en la puntuación del coeficiente intelectual (CI) y aprendizaje (Leal-Escalante et al., 2007, Levin et al., 2008, Min et al., 2009, Nevin, 2009). Si bien, la modificación en el CI de un sujeto no resulta clínicamente evidente o claramente indicativa del desempeño futuro, sí tiene implicancias desde el punto de vista de la salud pública, además de otras consecuencias de carácter económico y social (Levin et al., 2008, Matte, 2003).

Un efecto poco explorado, en relación con la exposición a niveles de plomo en sangre bajo 10 µg/dl, es el rendimiento escolar, que se ha estudiado a través de las calificaciones, entrevistas con padres o apoderados e informes de conducta entregados por las escuelas (Leal-Escalante et al., 2007, Charalambous et al., 2009, Chiodo et al., 2007, Wang et al., 2002).

Al respecto, en un estudio de cohorte en Boston (n = 116), se determinó que un aumento de 10 µg/dl de plomo sanguíneo a los dos años de edad disminuye 8,9 puntos el puntaje del K-TEA (IC95% = 4,2 a 13,6) medido a los 10 años de edad (Bellinger, 2004, Bellinger, Stiles, & Needleman, 1992). Mientras que, en otra investigación, realizada en Taiwán, se confeccionó un *ranking*, según las calificaciones obtenidas por los estudiantes con respecto a su clase. Se observó que cuando el nivel de plomo sanguíneo aumentó 1 µg/dl, los niño/as descendieron en el *ranking* de su aula 0,3 puntos. Los autores reportaron alteraciones en la habilidad de memorizar, más que en la habilidad de hacer cálculos (Wang et al., 2002).

También, en una investigación, de cohorte retrospectivo de base poblacional, en niños de escuelas públicas de Chicago (n = 57,350), se evaluó la exposición a plomo en menores de 6 años y el desempeño escolar a los 9–10 años de edad. En tal sentido, se registró una disminución en los puntajes de lectura ( $\beta = -0,60$ ;  $p = <0,0001$ ) y matemáticas ( $\beta = -0,50$ ;  $p = <0,0001$ ). Además, un incremento de 5 µg/dl de plomo sanguíneo en un rango de 2 a 9 µg/dl resultó en un 32% de aumento de riesgo de fracaso en lectura (RR=1,32; IC95%=1,26 a 1,39) y matemáticas (RR=1,32; IC95%=1,26 a 1,39) (Evens et al., 2015).

Por otro lado, en Suecia, los investigadores evaluaron los efectos tardíos de la exposición a bajas concentraciones de plomo en sangre (<5 µg/dl) en la niñez (7 y 12 años) y el rendimiento escolar en la adolescencia (16 años), encontrando una asociación inversa para quienes estudiaron durante los períodos entre 1981–1991

( $\beta = -0,0112$ ;  $p = 0,0001$ ) y 1992–2007 ( $\beta = -1,09$ ;  $p = <0,0001$ ) (Skerfving, Löfmark, Lundh, Mikoczy & Strömberg, 2015).

Otro estudio, también, evaluó la exposición moderada al plomo entre los 18–36 meses de edad y el rendimiento escolar en los exámenes finales de cuarto grado de primaria en dos distritos de Wisconsin ( $n = 1.133$ ). Esto reveló que, los infantes que tuvieron concentraciones entre 10 y 20  $\mu\text{g}/\text{dl}$  obtuvieron puntuaciones más bajas (ciencias  $\beta = -5,21$ ;  $p = 0,01$ ; lectura  $\beta = -8,91$ ;  $p = 0,003$ ; matemáticas  $\beta = -6,14$ ;  $p = 0,037$ , artes lingüísticas  $\beta = -6,28$ ;  $p = 0,003$  y estudios sociales  $\beta = -5,54$ ;  $p = 0,005$ ), que aquellos que estuvieron expuestos a concentraciones menores de 5  $\mu\text{g}/\text{dl}$  (Magzamen et al., 2013).

En cuanto a la reprobación escolar, se ha descrito su relación con el nivel de plomo en sangre. En niños con plomo sanguíneo mayor a 10  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , el riesgo de reprobación entre el primer y el tercer año fue de 1,73 (IC95% = 1,13 –2,66), y del primero al cuarto año de primaria 1,62 (IC95% = 1,07 –2,46). La media geométrica de plomo en sangre en infantes que reprobaron algún año escolar fue de 8,1  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , en comparación con los niños que no habían reprobado (7,6  $\mu\text{g}/\text{dl}$ ) (Leal-Escalante et al., 2007). Resultados similares fueron descritos por Coria y col., quienes reportaron que un 39% ( $n = 30$ ) de los niños intoxicados con plomo habían repetido al menos una vez durante su vida escolar (Coria et al., 2009).

Otros investigadores han descrito que los estudiantes expuestos a concentraciones moderadas de plomo eran más propensos a repetir el curso (71%), en contraste con los no expuestos (29%) ( $p = 0,0001$ ) (Magzamen et al., 2013).

En Chile, se ha descrito que la exposición a plomo produce efectos sobre el CI de los niños, disminuyéndolo (Coria et al., 2009, Iglesias, Steenland, Maisonet & Pino, 2011). Sin embargo, no se han estudiado los posibles efectos de la exposición sobre el rendimiento académico.

Por ello, en este trabajo se evaluó si la concentración de plomo sanguíneo podría estar relacionada con el rendimiento escolar, con el propósito de generar evidencia respecto al efecto de este material en la salud de los niños, que están expuestos a contaminantes ambientales en Chile; esto se convertiría en sustento para futuras legislaciones.

## MÉTODO

### ***Población y muestra del estudio***

Se utilizó la base de datos de un estudio previo, que evaluó la relación entre la exposición a plomo ambiental y el coeficiente intelectual en 192 niños, con edades comprendida entre los 7 y los 16 años. Esta población estuvo expuesta a un acopio de plomo ambiental en la ciudad de Antofagasta (Iglesias et al., 2011).

Para el presente estudio, se estimó el poder para determinar la relación entre la concentración de plomo sanguíneo y el rendimiento escolar con el tamaño de muestra disponible. Se utilizó el programa nQuery Advisor 4.0 y se consideró un coeficiente de correlación entre rendimiento escolar y nivel de plomo sanguíneo de 0,04 (Wang et al., 2002), número de covariables 4, un nivel de significancia de 95% y un  $n = 192$ , con estos parámetros el poder estimado fue de 97.

### ***Variable respuesta primaria***

El rendimiento escolar consideró las calificaciones finales obtenidas por los infantes, a partir de una escala de 1,0 a 7,0. Para ello, una vez concluido el año escolar 2005, se solicitó información a los 40 colegios donde asistían los niños participantes. Se les envió una planilla Excel que completaron y devolvieron a los investigadores. El documento solicitaba información sobre: promedio de notas general, promedio de Matemática y promedio de Lenguaje.

Las calificaciones se utilizaron como variables continuas. Como **variable respuesta secundaria**, se consultó a la madre si el niño había repetido alguna vez de curso (si = 1; no = 0).

### ***Variable independiente***

Nivel de plomo sanguíneo medido en  $\mu\text{g}/\text{dl}$ . Se midió utilizando la técnica de *lead care*, que consiste en obtener una gota de sangre capilar, a través de una punción en el dedo, la cual fue analizada por un equipo portátil de respuesta inmediata, que tiene un rango de lectura de concentración de plomo que va de 1 a 65  $\mu\text{g}/\text{dl}$ . La muestra de sangre fue obtenida por punción del dedo anular y puesta en tubos capilares con heparina, posteriormente, se analizó en el Laboratorio de Salud

Ambiental, sección Química Ambiental, SEREMI de Salud Región Metropolitana. Esta técnica fue validada en Chile en un estudio poblacional, realizado por el Servicio Metropolitano del Ambiente (SESMA). Comparada con la técnica estándar (espectroscopia de absorción atómica), el *lead care* presentó un coeficiente de correlación de 0,82 (Sánchez, Ilabaca, Martín, Vinas & Bravo, 2003).

### ***Covariables***

Se determinó el **coeficiente intelectual materno** utilizando la prueba WAIS (Wechsler Adult Intelligence Scale). Esta escala mide la inteligencia global en individuos de 16 a 64 años, de cualquier raza, nivel intelectual, educación, origen socioeconómico, cultural o nivel de lectura (Apsique, 2001). A la fecha del estudio, no se había validado una versión más actualizada.

La **estimulación en el hogar** se evaluó mediante el inventario HOME (Home Observation Measurement Environment) (Totsika, 2004). Ambas evaluaciones WAIS y HOME fueron aplicadas por psicólogos, que tuvieron un período de entrenamiento con el objeto de estandarizar los criterios de aplicación de las escalas. Los evaluadores desconocían el estatus de exposición de los niños participantes, por lo que de producirse diferencias en la medición de las escalas, estas ocurrieron de manera aleatoria y no diferencial.

Otras covariables se recolectaron a través de un cuestionario, previamente piloteado y aplicado a la madre. Asimismo, se capacitaron dos encuestadores, con el fin de evitar sesgo de información. Las variables sociodemográficas consideradas fueron: la edad; sexo; nivel de ingresos del grupo familiar (< \$ 250.000, \$ 250.001 – \$ 440.999, \$ 441.000 – \$ 669.999, > \$ 670.000); tipo de colegio al cual asiste el niño (público, particular subvencionado y particular); y consumo de tabaco de la madre durante el embarazo (si = 1; no = 0).

### ***Plan de análisis de datos***

Para estimar la asociación entre concentración de plomo sanguíneo y promedio general en las áreas de Matemáticas y Lenguaje, se utilizaron modelos de regresión lineal múltiple, ajustando por potenciales variables confusoras. El criterio para incluir variables confusoras en el modelo final fue teórico y estadístico (variable asociada a un valor  $p < 0,05$ , tanto con la variable respuesta como con la variable

de exposición y no ser parte de la cadena causal). Mientras que, para evaluar la asociación entre la concentración de plomo sanguíneo y la repitencia se utilizaron modelos de regresión logística.

El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de Investigación en Seres Humanos de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile.

## **RESULTADOS**

De los 192 niños reclutados, se obtuvo la información para responder a los objetivos de este estudio en 183 infantes. La edad de los participantes fluctuó entre 7 y 16 años. El 31,2% de las familias recibía ingresos menores a \$ 250.000 y un 31,7% tenía un ingreso mayor a \$ 670.000. El 57,92% de los niños asistían a una escuela pública (Tabla 1). Respecto la exposición ambiental, un 98,9% de las familias vivió cerca de acopios de plomo, ya sea del ferrocarril o del puerto de Antofagasta hasta el año 1998. El 64,4% de los infantes seguían viviendo en el sector el año 2005.

**Tabla 1***Características generales de la muestra en el estudio.*

<b>Variables</b>	<b>n</b>	<b>%</b>	<b>Mediana</b>	<b>P<sub>25</sub> – P<sub>75</sub></b>
<b>Edad (años)</b>	183		12	10–13
<b>Sexo</b>				
Niño	97	53,01		
Niña	86	46,99		
<b>Ingresos familiares</b>				
< \$ 250.000	57	31,15		
\$ 250.001 – \$ 440.999	39	21,31		
\$ 441.000 – \$ 669.999	28	15,85		
> \$ 670.000	58	31,69		
<b>Escolaridad de la madre<sup>a</sup></b>				
Básica	15	8,38		
Media	76	42,46		
Superior	88	49,16		
<b>CI de la madre (puntos)</b>	177		94	87 – 102
<b>Tipo de Escuela</b>				
Pública	106	57,92		
Particular y Particular subvencionada	77	42,08		
<b>% Asistencia a clases</b>			95,8	92 – 98
<b>Estimulación en el hogar (HOME)</b>	181		40	35 – 45
<b>Se mantiene viviendo en el sector año 2005<sup>b</sup></b>				
No	63	35,6		
Si	114	64,4		

<sup>a</sup> Información disponible para 179 madres, <sup>b</sup> Información disponible para 177 niños/as.

### ***Nivel de plomo sanguíneo***

La mediana de plomo sanguíneo fue de 3,3 µg/dl (RIC 2,1 – 4,4) (Tabla 2). Los niños presentaron mayor concentración de plomo sanguíneo comparado con las niñas (3,5 µg/dl versus 2,6 µg/dl), mientras que el grupo de menor ingreso familiar tuvo mayor concentración de plomo sanguíneo (mediana 3,6 µg/dl), en contraste con el grupo de mayor ingreso familiar (mediana 3,1 µg/dl).

Por otro lado, los infantes cuyas madres tenían enseñanza básica presentaron un nivel de plomo sanguíneo de 5,1  $\mu\text{g}/\text{dl}$  (RIC 3,6 a 8,4  $\mu\text{g}/\text{dl}$ ), mientras que los niños cuyas madres tenían educación superior presentaron menor nivel de plomo sanguíneo (mediana 3,0  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , RIC 1,9 a 4,3  $\mu\text{g}/\text{dl}$ ) (Tabla 2).

**Tabla 2**

*Descripción de niveles de plomo sanguíneo ( $\mu\text{g}/\text{dl}$ ) según variables de interés.*

	<b>Mediana</b>	<b>P<sub>25</sub> – P<sub>75</sub></b>
<b>Nivel de plomo sanguíneo 2005</b>	3,3	2,1 – 4,4
<b>Sexo</b>		
Niño	3,5	2,4 – 5,0
Niña	2,6	1,7 – 3,8
<b>Ingresos familiares</b>		
< \$ 250.000	3,6	2,5 – 5,0
\$ 250.001 – \$ 440.999	3,3	1,8 – 4,2
\$ 441.000 – \$ 669.999	2,3	1,8 – 3,2
> \$ 670.000	3,1	2,0 – 3,9
<b>Sigue viviendo ahí al año 2005</b>		
NO	3,1	1,8 – 3,6
SI	3,4	2,2 – 4,8
<b>Características escolares</b>		
<b>Tipo de Escuela</b>		
Pública	3,6	2,5 – 5,0
Particular y Particular subvencionada	2,3	1,6 – 3,4
<b>Escolaridad de la madre</b>		
Básica	5,1	3,6 – 8,4
Media	3,3	2,1 – 4,0
Superior	3,0	1,9 – 4,3

### ***Rendimiento académico***

En la Tabla 3 se observa que las niñas tienen mejor rendimiento académico en Lenguaje. Mientras que, según ingreso familiar, los infantes cuyas familias reciben un sueldo más alto poseen mejor rendimiento general, comparado con las familias

de ingresos más bajos. Así mismo, a menor escolaridad materna se observa menor rendimiento académico en las tres áreas evaluadas.

En relación al tipo de colegio, se evidencia que existe una tendencia a alcanzar mejores calificaciones en las escuelas particulares y particulares subvencionadas que en las escuelas públicas, tanto en calificaciones generales como en Lenguaje y Matemática.

En cuanto a la relación entre rendimiento y variables de exposición, se determinó que mientras mayor es el tiempo en el que los niños habían vivido cerca de los lugares de acopio (hasta el año 1998), menor era el rendimiento, al igual que aquellos infantes que se mantuvieron viviendo en el lugar hasta el año 2005.

**Tabla 3**

*Rendimiento académico de los niños expuestos a plomo según variables sociodemográficas y de exposición.*

	Calificación general		Calificación de Matemáticas		Calificación de Lenguaje	
	Mediana	P <sub>25</sub> – P <sub>75</sub>	Mediana	P <sub>25</sub> – P <sub>75</sub>	Mediana	P <sub>25</sub> – P <sub>75</sub>
<b>Sexo</b>						
Niño	5,8	5,2 – 6,2	5,3	4,4 – 6,1	5,2	4,6 – 6,0
Niña	5,9	5,4 – 6,4	5,2	4,4 – 5,9	5,6	5,0 – 5,9
<b>Ingresos familiares</b>						
< \$ 250.000	5,5	5,0 – 6,0	4,8	4,3 – 5,6	5,2	4,5 – 5,7
\$ 250.001 – \$ 440.999	5,5	5,1 – 6,2	5,3	4,4 – 6,2	5,0	4,4 – 5,9
\$ 441.000 – \$ 669.999	6,2	5,7 – 6,4	5,8	4,9 – 6,5	5,9	5,4 – 6,2
> \$ 670.000	6,0	5,4 – 6,3	5,4	4,6 – 6,1	5,7	5,0 – 6,2
<b>Tipo de Escuela</b>						
Pública	5,7	5,2 – 6,1	5,1	4,4 – 5,8	5,3	4,5 – 5,9
Particular y Particular subv.	6,0	5,4 – 6,4	5,4	4,5 – 6,3	5,7	5,1 – 6,2
<b>Escolaridad de la madre</b>						
Básica	5,6	5,0 – 5,8	5,2	4,5 – 5,4	4,8	4,0 – 5,8
Media	5,8	5,2 – 6,2	5,1	4,4 – 6,0	5,3	4,7 – 6,0
Superior	5,9	5,4 – 6,4	5,4	4,6 – 6,2	5,7	4,9 – 6,2
<b>Años que vivió en sector contaminado</b>						
1 a 3 años	6,0	5,7 – 6,4	5,6	5,0 – 6,2	5,6	5,2 – 6,2
4 a 5 años	5,8	5,3 – 6,2	5,1	4,4 – 6,1	5,6	4,8 – 6,0
6 a 9 años	5,4	5,0 – 5,9	4,7	3,9 – 5,6	4,9	4,4 – 5,8
<b>Se cambió de domicilio posterior a 1998</b>						
NO	5,8	5,4 – 6,4	5,3	4,6 – 6,3	5,7	4,9 – 6,2
SI	5,8	5,2 – 6,2	5,2	4,4 – 5,9	5,3	4,7 – 5,9

## ***Asociación entre rendimiento académico y nivel de plomo sanguíneo***

Con el fin de identificar potenciales variables confusoras, se realizó un análisis de asociación entre la variable resultado (rendimiento académico) con las covariables identificadas en la literatura y, posteriormente, se procedió a un análisis de asociación entre la variable de exposición (plomo sanguíneo) y las mismas covariables (Tabla 4).

**Tabla 4**

*Asociación de nivel de plomo sanguíneo y rendimiento académico con covariables de interés.*

	Nivel Plomo Sanguíneo			Rendimiento Académico		
	$\beta \pm EE$	Valor p	R <sup>2</sup>	$\beta \pm EE$	Valor p	R <sup>2</sup>
<b>Edad</b>	0,03 ± 0,08	0,666	0,001	-0,13 ± 0,02	0,001	0,16
<b>Sexo</b>	1,08 ± 0,33	0,001	0,05	-0,09 ± 0,09	0,319	0,00
<b>Ingresos</b>						
> \$ 670.000	Referencia			Referencia		
\$ 441.000 – \$ 669.999	-0,06 ± 0,52	0,912	0,02	0,24 ± 0,14	0,088	0,09
\$ 250.001 – \$ 440.999	0,28 ± 0,47	0,547		-0,22 ± -0,12	0,080	
< \$ 250.000	0,82 ± 0,42	0,056		-0,33 ± 0,11	0,005	
<b>Tipo de Escuela</b>						
Particular y P. subv.	Referencia			Referencia		0,03
Publica	-1,46 ± 0,33	0,001	0,09	0,25 ± 0,09	0,008	
<b>Escolaridad de la madre</b>						
Superior	Referencia			Referencia		0,02
Media	-0,12 ± 0,33	0,696	0,10	-0,12 ± 0,33	0,696	
Básica	2,58 ± 0,59	0,001		-0,27 ± 0,18	0,127	
<b>CI Materno</b>	-0,38 ± 0,14	0,007	0,04	0,01 ± 0,04	0,002	0,05
<b>Estimulación en el hogar</b>	-0,05 ± 0,02	0,011	0,03	0,03 ± 0,01	0,001	0,13

En ambos casos se utilizó la regresión lineal simple, dado que la variable de resultado y exposición son continuas. Las variables, según la literatura, están relacionadas conceptualmente con rendimiento académico y cumplen con el criterio de estar asociadas con la variable respuesta y variable de exposición, considerando un nivel de significancia <0,05 fueron estimulación en el hogar, tipo de escuela, CI materno y nivel de ingresos. A pesar de que el nivel de ingresos se asocia con ambas variables, se elige tipo de escuela, ya que, al analizar nivel de ingreso con tipo de escuela, ambas variables están muy relacionadas (Prueba de Chi cuadrado, valor p < 0,0001). El tipo de escuela resulta ser un buen proxy de los ingresos y tiene una asociación más fuerte con las variables dependiente e independiente.

También, se evaluó la asociación entre rendimiento académico y concentración de plomo en sangre mediante modelos de regresión lineal múltiple (Tabla 5). En el análisis crudo se observa una relación inversa y significativa entre la concentración de plomo en sangre y el promedio general, promedio en Matemáticas y promedio en Lenguaje. Al ajustar, se mantiene la asociación inversa, sin embargo solo es significativa en el área de lenguaje. Al respecto, por cada  $\mu\text{g}/\text{dl}$  que aumenta la concentración de plomo en sangre, el niño disminuye en promedio 6 centésimas su calificación en esta área. El modelo ajustado explica un 17% de la variabilidad del rendimiento en el área de Lenguaje.

**Tabla 5**

*Asociación de concentración de plomo en sangre con promedio general, Matemáticas y Lenguaje.*

	General		Matemáticas		Lenguaje	
	$\beta + \text{EE}$ (IC 95%)	$R^2$	$\beta + \text{EE}$ (IC 95%)	$R^2$	$\beta + \text{EE}$ (IC 95%)	$R^2$
<b>Plomo crudo</b>	$-0,063 \pm 0,02$ ( $-0,103$ a $-0,023$ )	0,05	$-0,05 \pm 0,32$ ( $-0,116$ a $0,011$ )	0,01	$-0,10 \pm 0,02$ ( $-0,158$ a $-0,052$ )	0,07
<b>Plomo ajustado<sup>a</sup></b>	$-0,040 \pm 0,02$ ( $-0,079$ a $0,002$ )	0,15	$-0,02 \pm 0,03$ ( $-0,092$ a $0,037$ )	0,10	$-0,06 \pm 0,02$ ( $-0,117$ a $-0,013$ )	0,17

<sup>a</sup> Ajustado por CI materno, estimulación en el hogar y tipo de escuela.

De los niños que participaron, un 9,5% ( $n = 17$ ) repitió de curso alguna vez, por ello, se exploró si la concentración de plomo sanguíneo estaría relacionada con el hecho de haber repetido. En ese sentido, se ajustó un modelo de regresión logística, considerando las mismas confusoras utilizadas en el modelo anterior. Se observó una asociación significativa, tanto en el análisis crudo como ajustado. Por cada 1  $\mu\text{g}/\text{dl}$  que aumenta la concentración de plomo en sangre, la posibilidad de repetir de curso aumenta en 24% (valor  $p = 0,036$ ) (Tabla 6).

**Tabla 6**

*Asociación entre repetencia y concentración de plomo en sangre.*

	OR	Valor p	IC 95%
<b>Plomo crudo</b>	1,33	0,001	1,116 – 1,587
<b>Plomo ajustado<sup>a</sup></b>	1,24	0,036	1,014 – 1,533

<sup>a</sup>Ajustado por CI materno, estimulación en el hogar y tipo de escuela.

## DISCUSIÓN

Se determinó que a mayor nivel de plomo sanguíneo, existe un menor rendimiento académico. Estos resultados son consistentes con otros estudios (Evens et al, 2015, Magzamen et al, 2013, Miranda et al., 2007, Skerfving et al, 2015, Wang et al., 2002).

El efecto del plomo sobre el rendimiento académico se sustenta en estudios que han descrito que la exposición prenatal a plomo afecta al desarrollo del sistema nervioso, produciendo la disminución en la capacidad de concentración y un aumento en la impulsividad (Banks, Ferretti, & Shucard, 1997, Matte, 2003). Coria y col. reportaron efectos sobre el rendimiento escolar debido a una intoxicación aguda de plomo (Coria et al., 2009).

Al analizar las áreas de Matemática y Lenguaje se observó, también, una relación inversa entre concentración de plomo sanguíneo y las calificaciones obtenidas por los niños, sin embargo, esta relación solo fue significativa en el área de Lenguaje. Resultados similares describió Min y col. en un grupo de infantes expuestos tempranamente a bajos niveles de plomo (Min et al., 2009).

Esta diferencia entre Matemáticas y Lenguaje concuerda con otros estudios, debido a que las bajas exposiciones a plomo están más relacionadas con la habilidad de memorizar que de hacer cálculos (Bleecker et al., 2005, Mezquía, 2009, Min et al., 2009, Surkan et al., 2007, Wang et al., 2002). A pesar de lo anteriormente expuesto, un estudio colombiano reporta que el área de mayor dificultad fue Matemáticas, además de Lenguaje lo que puede deberse a que la coordinación visomotora, memoria y atención se encuentran alteradas, generando trastornos del aprendizaje (Rodríguez, Zapata & Puentes, 2008). Otros estudios han reportado asociaciones inversas entre la exposición a bajas concentraciones a plomo y rendimiento escolar en Lenguaje, Matemáticas y otras asignaturas. A diferencia de nuestro estudio, en ambas investigaciones se registró un mayor tamaño muestral (Evens et al, 2015, Magzamen et al, 2013).

En relación al rendimiento en el área de Lenguaje, se determinó que la asociación con el nivel de plomo es inversa y significativa, tanto en el análisis crudo como en el análisis ajustado. Por cada 1  $\mu\text{g}/\text{dl}$  de plomo que aumenta en sangre, disminuye en 6 centésimas la calificación del niño. El modelo ajustado explica un 17% de la variabilidad del rendimiento en el área de Lenguaje. Modelos descritos en otros estudios han explicado el 14% (Wang et al., 2002) y el 15%

(Miranda et al., 2007). Esta leve diferencia se puede deber a la forma de medir el rendimiento, en el caso del presente estudio se consideró el promedio anual de las calificaciones en escala de 1,0 a 7,0, mientras que Wang y col. hicieron un *ranking* por clase (Wang et al., 2002) y Miranda y col., se basaron en los resultados de un examen final (Miranda et al., 2007). El hecho de hacer el análisis con la calificación anual es más estable que una prueba final o el *ranking*, ya que da cuenta de la evolución del infante durante el año y no de un momento específico (MINEDUC, 2002).

Parte de la evaluación de la validez de los resultados supone la consideración en el análisis de variables que podrían confundir la relación entre nivel de plomo en sangre y rendimiento académico. En este sentido, en este estudio se consideró tipo de escuela al que asisten, coeficiente intelectual de la madre y estimulación en el hogar. Estos factores concuerdan con otros estudios sobre rendimiento académico en que se analiza una serie de variables que podrían incidir en el desarrollo escolar (Aguirre & Adasme, 2009, Brunner, 2004, Peña, 2002, Velez & Valezuela, 1995).

Los alumnos con menores ingresos asisten a establecimientos municipales, donde se exhiben menores rendimientos. Los estudios orientados a dar respuesta acerca del bajo rendimiento en alumnos que provienen de familias con menores ingresos, han planteado una interrogante ante el “efecto escuela” y el “efecto familia”. Al respecto, se ha determinado que el efecto familia es el más importante para explicar los resultados de aprendizaje de los estudiantes (Aguirre, 2009, Brunner, 2004, Donoso, 2002). Todo esto se observa también en este estudio, pues la estimulación en el hogar, CI de la madre, escolaridad materna, tipo de escuela y nivel de ingreso familiar son importantes no solo en el rendimiento académico, sino como agentes preventivos frente a la exposición al plomo.

Se ha descrito que la mayor escolaridad materna se relaciona con mayores ingresos, mejor calidad de la vivienda, mejor alimentación y mayor vigilancia sobre los hábitos de higiene de sus hijos (Sepúlveda, Vega, & Delgado, 2000). Estos antecedentes coinciden con nuestros resultados. Los niños con madres con mayor escolaridad presentaron menores concentraciones de plomo sanguíneo.

Otro resultado que llama la atención es que mientras mayor es el tiempo que el niño vivió cerca de los lugares de acopio hasta el año 1998, menor es el rendimiento académico. Una tendencia similar se observa en aquellos infantes que

se mantuvieron viviendo cercano al lugar de acopio hasta el año 2005. Una posible explicación es que, para el año 1998 cuando los niños tenían entre 1 y 9 años, un 47,5% de ellos presentaba niveles  $\geq 10$   $\mu\text{g}/\text{dl}$ . Al respecto, diversos autores han señalado que la exposición temprana a plomo se asocia con consecuencias neurotóxicas y neuroconductuales que son irreversibles (Coria et al., 2009, Miranda et al., 2007), debido a que el mayor desarrollo neurológico ocurre en esta etapa (Bellinger, 2004, Miranda et al., 2007), lo que se podría asociar con un efecto sobre la cognición en la edad escolar (Bellinger et al., 1992, Chandramouli, Steer, Ellis, & Emond, 2009, Min et al., 2009, Weuve et al., 2009).

Otra variable interesante de analizar, al momento de revisar el desarrollo escolar, es la repitencia de curso. En nuestro estudio se determinó una asociación significativa entre concentración de plomo sanguíneo y haber repetido de curso, tanto en el análisis crudo como ajustado. Resultados similares fueron descritos en un estudio realizado en México (Leal-Escalante et al., 2007), donde el riesgo de reprobación aumentó un 41% con niveles de plomo sanguíneo  $>10$   $\mu\text{g}/\text{dl}$  (valor  $p = 0,012$ ). Asimismo, Coria y col., reportaron que un 39% de los niños con concentraciones de plomo en sangre entre 37 y 104  $\mu\text{g}/\text{dl}$  reprobó al menos una vez en su vida escolar (Coria et al., 2009). Por su parte, Magzamen et al., describió que los niños expuestos al plomo tenían una proporción significativamente mayor de repitencia (71%) que los no expuestos (29%) (valor  $p = <0,0001$ ) (Magzamen et al., 2013).

El presente estudio no está exento de limitaciones. Una de ellas es el desconocimiento del comportamiento de los niños, ya que los niveles de concentración de plomo sanguíneo  $<10$   $\mu\text{g}/\text{dl}$ , se relacionan con hiperactividad y déficit atencional (Chen, 2007). Estos efectos, también, se consideran posibles razones de reducción en las funciones cognitivas y, por ende, en el rendimiento académico (Bellinger, 2004, Chiodo et al., 2007). El hecho de que la variable de exposición se midió de manera concurrente con la variable respuesta en el estudio marco es una limitación para el establecimiento de una relación causal.

Una de las fortalezas del estudio fue la disponibilidad de información oficial, proporcionada por los propios colegios sobre el rendimiento académico y el uso de un biomarcador de exposición estandarizado. Lo anterior, sumado a la capacitación de los encuestadores y de los profesionales que aplicaron las pruebas para determinar CI de la madre y estimulación en el hogar permitió minimizar sesgos de información.

La presente investigación evidencia el efecto del plomo en niveles inferiores a 5 µg/dl sobre el rendimiento académico. La educación es un elemento esencial para alcanzar un mayor crecimiento económico por el papel que desempeña en la formación del recurso humano, impactando en la vida futura en la capacidad de insertarse en el mundo laboral, en donde las competencias han adquirido relevancia para acceder a mejores trabajos (Leal-Escalante et al., 2007).

## **CONCLUSIÓN**

En este estudio se confirma que, a niveles menores de 5µg/dl se observan efectos sobre el rendimiento académico de los niños evaluados. Dado el elevado número de sectores que presentan la actividad industrial, en los cuales se podría emitir plomo al ambiente, se requiere que las autoridades aborden la problemática ambiental con el fin de prevenir las consecuencias irreversibles de la exposición a este metal.

### **Fuente de financiamiento**

El proyecto marco fue financiado por el Centro Internacional Fogarty. U.S. National Institutes of Health #D43TWO5746-02.

### **Conflicto de interés**

Los autores declaran no tener conflicto de interés con la fuente de financiamiento.

### **Agradecimientos**

A las familias participantes y a los colegios, quienes nos concedieron su tiempo y colaboración para realizar el estudio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIRRE, M., CASTRO, M.; ADASME, A. (2009). Factores que inciden en el rendimiento Escolar en Chile. *Estudios de Economía Regional*, 2(04), 16-17.

APSIQUE. (2001). *Test de inteligencia WAIS: Wechsler Adults Intelligence Scale*. Retrieved from <http://www.apsique.com/wiki/PsicWais>

BANKS, E.C., FERRETTI, L.E., & SHUCARD, D.W. (1997). Effects of low level lead exposure on cognitive function in children: a review of behavioral, neuropsychological and biological evidence. *Neurotoxicology*, 18(1), 237-281.

BELLINGER, D.C. (2004). Lead. *Pediatrics*, 113(4 Suppl), 1016-1022.

BELLINGER, D.C., STILES, K.M., & NEEDLEMAN, H.L. (1992). Low-level lead exposure, intelligence and academic achievement: a long-term follow-up study. *Pediatrics*, 90(6), 855-861.

BLEECKER, M.L., FORD, D.P., LINDGREN, K.N., HOESE, V.M., WALSH, K.S., & VAUGHAN, C.G. (2005). Differential effects of lead exposure on components of verbal memory. *OccupEnvironMed*, 62(3), 181-187.

BRUNNER, J.E., ELACQUA, G. (2004). Factores que inciden en una educación efectiva. Evidencia Internacional. Disponible en: <http://www.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?ID=106885>

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. (2017). Lead. Retrieved from: [https://www.cdc.gov/nceh/lead/ACCLPP/blood\\_lead\\_levels.htm](https://www.cdc.gov/nceh/lead/ACCLPP/blood_lead_levels.htm)

CHANDRAMOULI, K., STEER, C. D., ELLIS, M., & EMOND, A. M. (2009). Effects of early childhood lead exposure on academic performance and behaviour of school age children, *Arch Dis Child*, 94(11), 844-848. Doi: [10.1136/adc.2008.149955](https://doi.org/10.1136/adc.2008.149955)

CHARALAMBOUS, A., DEMOLIOU, K., MÉNDEZ, M., COYE, R., SOLORZANO, G., PAPANASTASIOU, E. (2009). Screening for lead exposure in children in Belize. *Rev Panam Salud Pública*, 25(1): p. 47-50.

CHEN, A., CAI, B.; DIETRICH, K. N.; RADCLIFFE, J.; ROGAN, W. J. (2007). Lead exposure, IQ, and behavior in urban 5 to 7 years olds: Does lead effect behavior only by lowering IQ? *Pediatrics*, 119(3), 650-658.

CHIDO, L. M., COVINGTON, C., SOKOL, R. J., HANNIGAN, J. H., JANNISE, J., AGER, J., GREENWALD, M., DELANEY-BLACK, V. (2007). Blood lead levels and specific attention effects in young children. *Neurotoxicol Teratol*, 29(5), 538-546.

CORIA, C., CABELLO, A., TASSARA, E., LÓPEZ, E., ROSALES, H., PÉREZ, M., ZAVALA, C., MUÑOZ, P., ORELLANA, G., INOSTROZA, M. I., CONTRERAS, L., KIRSTEN, L. (2009). [Long term consequences among children exposed to lead poisoning]. *Rev Med Chil*, 137(8), 1037-1044. Doi:[S0034-98872009000800006](https://doi.org/S0034-98872009000800006)

DONOSO, S., HAWES, G. (2002). Eficiencia escolar y diferencias socioeconómicas: a propósito de los resultados de las pruebas de medición de la calidad de la educación en Chile. *Educación e Pesquisa*, 28(2), 25-39. Doi: [10.1590/S1517-97022002000200003](https://doi.org/10.1590/S1517-97022002000200003)

EVENS, A., HRYHORCZUK, D., LANPHEAR, BP., RANKIN, KM., LEWIS, DA., FORST, L., ROSENBERG, D. (2015). The impact of low-level lead toxicity on school performance among children in the Chicago Public Schools: a population-based retrospective cohort study. *Environ Health*. 14:21. Doi: [10.1186/s12940-015-0008-9](https://doi.org/10.1186/s12940-015-0008-9)

IGLESIAS, V., STEENLAND, K., MAISONET, M., PINO, P. (2011). Exposure to lead from a storage site associated with intellectual impairment in Chilean children living nearby. *Int J Occup Environ Health*, 17(4):314-21.

JIMÉNEZ-GUTIÉRREZ, C., ROMIEU, I., RAMÍREZ-SÁNCHEZ, A., PALAZUELOS-RENDÓN, E., & MUÑOZ-QUILES, I. (1999). Exposición a plomo en niños de 6 a 12 años de edad. *Salud Publica Mex*, 41(2), S72-S81.

LEAL-ESCALANTE, C.R., BALTAZAR-REYES, M.C., LINO-GONZÁLEZ, M., PALAZUELOS-RENDON, E., & MENESES-GONZÁLEZ, F. (2007). [Blood lead levels and poor school performance among children in México City]. *Gac Med Mex*, 143(5), 377-381.

LEVIN, R., BROWN, M. J., KASHTOCK, M. E., JACOBS, D. E., WHELAN, E. A., RODMAN, J., SHOCK, M. R., PADILLA, A., SINKS, T. (2008). Lead exposures in U.S. Children, 2008: implications for prevention. *Environ Health Perspect*, 116(10), 1285-1293. doi:10.1289/ehp.11241

MAGZAMEN, S., IMM, P., AMATO, MS., HAVLENA, JA., ANDERSON, HA., MOORE, CF., KANAREK, MS.(2013). Moderate lead exposure and elementary school end-of-grade examination performance. *Annals of Epidemiology*, 23(11), 700-707.

MATTE, T. (2003). Efectos del plomo en la salud de la niñez. *Salud Publica Mex.*, 45(2), S220-S224.

MEZQUÍA, A., VALDÉS, J., CUMBÁ, C., GONZÁLEZ, Y., SARDIÑAS, O., ACOSTA, L. (2009). Efectos del plomo sobre el aprendizaje en educandos del municipio Centro Habana, 2004-2006. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 47(2).

MIN, M. O., SINGER, L. T., KIRCHNER, H. L., MINNES, S., SHORT, E., HUSSAIN, Z., & NELSON, S. (2009). Cognitive development and low-level lead exposure in poly-drug exposed children. *Neurotoxicol Teratol*, 31(4), 225-231. Doi: 10.1016/j.ntt.2009.03.002.

MINEDUC. (2002). Las Calificaciones Escolares. *Revista de Educación*.

MIRANDA, M.L., KIM, D., GALEANO, M.A., PAUL, C.J., HULL, A.P., & MORGAN, S.P. (2007). The relationship between early childhood blood lead levels and performance on end-of-grade tests. *Environ Health Perspect*, 115(8), 1242-1247. Doi:10.1289/ehp.9994

NEVIN, R., (2009). Trends in preschool lead exposure, mental retardation, and scholastic achievement: association or causation? *Environ Res*, 109(3), 301-310.

PEÑA, C. (2002). Rendimiento Escolar en Chile en establecimientos públicos y privados: ¿Qué nos muestra la nueva evidencia? (Magíster Estudio de Caso), Universidad de Chile, Santiago. Retrieved from [http://www.opech.cl/bibliografico/Doc\\_Financiamiento/RendimientoEscolarEnChileEnEstablecimientosPublicosYPrivadosPena.pdf](http://www.opech.cl/bibliografico/Doc_Financiamiento/RendimientoEscolarEnChileEnEstablecimientosPublicosYPrivadosPena.pdf)

RODRÍGUEZ, M., ZAPATA, M., PUENTES, P. (2008). Perfil neuropsicológico de escolares con trastornos específicos del aprendizaje de instituciones educativas de Barranquilla, Colombia. [Neuropsychological profiles of students with specific learning disabilities in Barranquilla - Colombia]. *Acta Neurol Colomb.*, 24(2), 63-73.

SÁNCHEZ, J., ILABACA, M., MARTÍN, A., VINAS, L., BRAVO, R. (2003). [Prevalence of lead in blood in scholar children in Santiago of Chile.]. *Salud Pública Mex.*, 45 Suppl 2: S264-8.

SEPULVEDA, V., VEGA, J., & DELGADO, I. (2000). [Severe exposure to environmental lead in a child population in Antofagasta, Chile]. *Rev Med Chil.*, 128(2), 221-232.

SKERFVING, S., LÖFMARK, L., LUNDH, T., MIKOCZY, Z., STRÖMBERG, U. (2015). Late effects of low blood lead concentrations in children on school performance and cognitive functions. *Neurotoxicology*. 49, 114-120.

SURKAN, P. J., ZHANG, A., TRACHTENBERG, F., DANIEL, D. B., MCKINLAY, S., & BELLINGER, D. C. (2007). Neuropsychological function in children with blood lead levels <10 microg/dL. *Neurotoxicology*, 28(6), 1170-1177.

TOTSIKA, V., SYLVA, K. (2004). The Home Observation for Measurement of the Environment Revisited. *Child and Adolescent Mental Health*, 9(1), 25-35.

VELEZ, E., SCHIEFELBEIN, E., VALENZUELA, J. (1995). Factores que afectan el rendimiento académico en la educación primaria. *Revista Latinoamericana de Innovación Educativa*, 1(17), 29-57.

WANG, C.L., CHUANG, H.Y., HO, C.K., YANG, C.Y., TSAI, J.L., WU, T.S., & WU, T.N. (2002). Relationship between blood lead concentrations and learning achievement among primary school children in Taiwan. *Environ Res*, 89(1), 12-18. [Doi:10.1006/enrs.2002.4342](https://doi.org/10.1006/enrs.2002.4342)

WEUVE, J., KORRICK, S. A., WEISSKOPF, M. A., RYAN, L. M., SCHWARTZ, J., NIE, H., GRODSTEIN, F., HU, H. (2009). Cumulative exposure to lead in relation to cognitive function in older women. *Environ Health Perspect*, 117(4), 574-580. [doi:10.1289/ehp.11846](https://doi.org/10.1289/ehp.11846)