

CENTRO DE  
ESTUDIOS  
MINEDUC

TODOS  
POR  
CHILE



DIVISIÓN DE  
PLANIFICACIÓN  
Y PRESUPUESTO

DOCUMENTO  
DE TRABAJO

n° **1**

**Diferencias en el desempeño  
escolar de los estudiantes  
expuestos a contaminación  
por polimetales en Arica**

Javier Guevara M.

Mayo, 2017

DOCUMENTO  
DE TRABAJO N° 1

DIFERENCIAS EN EL DESEMPEÑO  
ESCOLAR DE LOS ESTUDIANTES  
EXPUESTOS A CONTAMINACIÓN POR  
POLIMETALES EN ARICA

1

Javier Guevara M.  
Mayo, 2017

Diferencias en el desempeño escolar de los estudiantes  
expuestos a contaminación por polimetales en Arica  
Centro de Estudios MINEDUC  
División de Planificación y Presupuesto

Ministerio de Educación, República de Chile  
Av. Libertador Bernardo O'Higgins N° 1371,  
Piso 8, Santiago, RM, Chile  
Tel. 22 406 6000  
© 2017 Ministerio de Educación

2  
Presidenta de la República de Chile: Michelle Bachelet J.  
Ministra de Educación: Adriana Delpiano P.  
Subsecretaria de Educación: Valentina Quiroga C.

Jefe de División de Planificación y Presupuesto: Francisco Jeria L.  
Jefe de Centro de Estudios: Roberto Schurch S.  
Coordinación general de la publicación:  
Unidad de Promoción y Difusión de la Investigación  
Edición y corrección de estilo: Daniela Ubilla R.  
Diseño y diagramación: Diseño MINEDUC

Se autoriza su reproducción siempre y cuando se haga referencia explícita a la fuente.

En la presente publicación se emplea un lenguaje inclusivo y no discriminador. Sin embargo, con el fin de respetar la ley lingüística de la economía expresiva y así facilitar la lectura y comprensión del texto, se usará el masculino genérico que se acepta como representante de hombres y mujeres en igual medida.

# Índice

Resumen	4
Abstract	5
1. Introducción	7
2. Antecedentes institucionales	10
3. Revisión de la literatura	12
4. Datos	14
5. Relación entre la concentración de plomo en la sangre y el desempeño escolar	22
5.1. Correlación simple	22
5.2. Estimación mediante Mínimos Cuadrados Ordinarios	24
6. Conclusiones	33
Bibliografía	36
Anexos	38

## Resumen

El presente documento tiene como objetivo analizar si existen diferencias en variables del desempeño escolar como el promedio de notas estandarizado y el porcentaje de asistencia, en los estudiantes expuestos a la contaminación por polimetales en la ciudad de Arica. Se debe considerar que estudios anteriores no han analizado estas variables y que algunos no han contado con una medida directa de la concentración de plomo en la sangre de los estudiantes, entendiéndose que la condición de beneficiario de la Ley de Polimetales es una medida indirecta de la exposición a contaminación por plomo. Así, se utilizó la muestra del estudio de Rosas et al. (2016), que es el más reciente realizado en nuestro país, además de información sobre el nivel de concentración de plomo en la sangre de los estudiantes beneficiarios de la Ley de Polimetales obtenida para la presente investigación, junto al porcentaje de asistencia, el promedio de notas, y las características de los alumnos y de los establecimientos a los cuales asisten.

4

En un primer análisis no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los estudiantes beneficiarios y no beneficiarios de la Ley de Polimetales en el promedio de notas y tampoco en el porcentaje de asistencia. Luego, y mediante modelos estimados por MCO, no se encontró una relación estadísticamente significativa entre la concentración de plomo en la sangre, y el promedio de notas y el porcentaje de asistencia. Esto puede explicarse, en primer lugar, por el nivel de plomo en la sangre que tiene la muestra del estudio, la cual es baja según estándares internacionales. En segundo lugar, puede que las acciones contempladas en la Ley de Polimetales para los estudiantes beneficiarios hayan permitido que estos presenten un desempeño escolar equivalente a los no beneficiarios.

**Palabras clave:** exposición al plomo, polimetales, desempeño escolar, Ley N° 20.590.

## Abstract

The present paper aims to analyse if there are differences in variables of school performance such as standardised average grades and attendance rate in students exposed to polymetallic pollution in the city of Arica, considering that previous studies have not analysed these variables and some of them have not measured of blood lead concentration directly in students, understanding that the beneficiary status of the Polimetals Law is an indirect measure of exposure to lead contamination. Thus, we used the sample of the most recent study to date in our country, by Rosas et al. (2016), in addition to information on the level of lead concentration in the blood of students who benefit from the Polimetals Law, obtained for this paper, together with students' attendance rate and average grades, as well as student and school characteristics. In a first analysis, there were no statistically significant differences between the beneficiary and non-beneficiary students of the Polimetals Law in average grades and attendance rate. Then, using models estimated by OLS, no statistically significant relationship was found between blood lead concentration, and average grades and attendance rate. This can be explained, firstly, by the level of lead in the blood of the study sample, which is low according to international standards. Second, the actions contemplated in the Polimetals Law for beneficiary students may have allowed beneficiary students to perform similarly to non-beneficiaries.

5

**Keywords:** lead exposure, polimetals, school performance, 20.590 Law.

\* Se agradecen los valiosos comentarios de Amanda Castillo, Eduardo Cerda, Francesca Bonomelli, Flavia Fiabane, Mario Rivera, Roberto Schurch y María José Sepúlveda. Cualquier error es de exclusiva responsabilidad del autor.



# 1. Introducción

Durante los años ochenta, una empresa privada ingresó a Chile material químico y mineral proveniente de Suecia, a partir del cual se pretendía extraer oro. Dicho material contenía gran cantidad de plomo y arsénico, los cuales fueron depositados en un sector de la ciudad de Arica. Es así como, con el paso del tiempo, la población estuvo expuesta a estos desechos contaminantes con altos niveles de plomo y arsénico

Dicha situación llevó a que en mayo de 2012, se promulgara la Ley N° 20.590<sup>1</sup>, la cual establece un programa de acción en las zonas con presencia de polimetales<sup>2</sup> en la comuna de Arica, y que contempla diversos beneficios a nivel de salud, educación y vivienda para los acogidos por esta ley (Biblioteca del Congreso Nacional, 2012; Rosas, Escobar, Navarro & Tenorio, 2016). Estos beneficios incluyen reforzamiento para aquellos alumnos beneficiarios con rendimiento deficiente; un plan de apoyo a docentes y asistentes de la educación; la realización de investigaciones para detectar cómo pudo haber afectado la contaminación por polimetales en los alumnos beneficiarios, becas de mantención para alumnos de enseñanza media y superior; y la focalización en aquellos afectados, por parte de los distintos programas de la Junta Nacional de Auxilio Escolar y Becas, entre otros (Biblioteca del Congreso Nacional, 2012).

Los efectos de la exposición al plomo en la salud humana es un tema de gran preocupación. A nivel internacional, existe amplia literatura que da cuenta de sus efectos negativos en el desarrollo cognitivo de los niños (Banks et al., 1997; Lanphcar et al., 2000; Canfield et al., 2003), en el rendimiento académico (Tong, McMichael & Baghurst, 2010; Wasserman et al., 2000) y en otras variables de interés (Wolpaw, 2007; Clay et al., 2014).

Esta preocupación e interés a la luz de los antecedentes anteriormente expuestos, también se evidencian en Chile con estudios que evidencian los efectos del plomo. En primer lugar, se ha identificado la gasolina y las pinturas a base de

---

<sup>1</sup> En lo que sigue del documento, se usará indistintamente el nombre de Ley N° 20.590 o Ley de Polimetales.

<sup>2</sup> Para efectos del presente documento, cuando se habla de contaminación por polimetales se refiere a la contaminación por presencia de plomo.

plomo como una de las principales fuentes de contaminación, y se ha reconocido a Arica y Antofagasta como ejemplos de ciudades con alta contaminación (Tchernitchin et al., 2005). En efecto, gran parte de los estudios se ha concentrado en los efectos de la contaminación por polimetales en la población de Arica, encontrándose resultados mixtos.

Así, se detectó que no existe una relación estadísticamente significativa entre el plomo en la sangre y el coeficiente intelectual (Escuela de Salud Pública Universidad de Chile, 2012). Tampoco existen diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento cognitivo de los niños beneficiarios de la Ley de Polimetales y los no beneficiarios, luego de controlar por la escolaridad de la madre (Rosas, Escobar, Navarro & Tenorio, 2016).

Por el contrario, se ha encontrado una relación negativa y estadísticamente significativa entre la distancia de los hogares a la zona de acopio del material contaminante y el desempeño académico de los alumnos (Rau, Reyes & Urzúa, 2015); además, de que los niños que han sido expuestos al plomo antes de los seis años de edad, tienen un coeficiente intelectual más bajo al evaluarlos diez años después (Coria et al., 2009).

El estudio de Rosas, Escobar, Navarro y Tenorio (2016) constituye el trabajo más reciente realizado en el país sobre los efectos de la exposición al plomo en el rendimiento cognitivo. No obstante, este estudio deja fuera ciertos elementos a considerar para futuras investigaciones. Por un lado, es importante analizar los efectos que podría tener la concentración de plomo en la sangre sobre el desempeño escolar, en variables tan relevantes como el promedio de notas y el porcentaje de asistencia de los estudiantes. Por otro lado, se hace necesario contar con una medida directa de la concentración de plomo en la sangre de los estudiantes, entendiendo que la condición de beneficiario de la Ley de Polimetales es una medida indirecta de la exposición a contaminación por plomo.

Según lo anterior, es que resulta pertinente determinar si existen diferencias en el desempeño escolar en los niños expuestos a la contaminación por polimetales en Arica y, de esta forma, contribuir a la evidencia en Chile respecto al tema.

Para esto, se utilizará la muestra empleada en el estudio de Rosas, Escobar, Navarro y Tenorio (2016), además de información adicional sobre la concentración de plomo en la sangre, obtenida para la presente investigación. Luego, por medio de un análisis descriptivo y una estimación de modelos mediante Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), se determinará si existen diferencias en el desempeño escolar (promedio de notas y porcentaje de asistencia) entre los grupos de beneficiarios y no beneficiarios de la Ley de Polimetales, y si se establece alguna relación entre la concentración de plomo en la sangre y en las variables de interés antes mencionadas.

Los resultados sugieren que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de estudiantes beneficiarios y no beneficiarios en el promedio de notas y el porcentaje de asistencia, y que no evidencia una relación estadísticamente significativa entre la concentración de plomo en la sangre y esas mismas variables. Esto puede deberse, por un lado, a los niveles de plomo en la sangre presentes en la muestra, los cuales son considerados bajos de acuerdo a estándares internacionales y que pueden reflejar que no existe un efecto sobre el desempeño académico. Por otro lado, puede ser una consecuencia de los programas de apoyo que contempla la Ley de Polimetales para los estudiantes beneficiarios, la que ha ayudado a que estos tengan un desempeño escolar equivalente al de los no beneficiarios. Sin embargo, queda como desafío para futuras investigaciones testear este escenario.

El resto del documento se estructura como sigue: en la sección II se entrega una breve descripción de la Ley N° 20.590. La sección III ofrece una revisión de la literatura relacionada con los efectos de la exposición a contaminación por plomo, tanto a nivel nacional como internacional. La sección IV detalla los datos a utilizar en el presente trabajo, además de entregar estadísticas descriptivas asociadas a estos. Luego, la sección V analiza la relación entre concentración de plomo en la sangre y el desempeño escolar de los estudiantes, e indica las estrategias utilizadas para este objetivo y los resultados asociados. Finalmente, la sección VI proporciona las principales conclusiones surgidas a partir de los resultados obtenidos.

## 2. Antecedentes institucionales

El 29 de mayo de 2012 se promulga la Ley N° 20.590, que tiene por objeto "establecer un programa de acción en las zonas o territorios específicos con presencia de polimetales en la comuna de Arica y en sus habitantes que cumplen la calidad de beneficiarios" (Biblioteca del Congreso Nacional, 2012).

La calidad de beneficiario fue definida por el reglamento de la Ley, publicado en noviembre de 2012, que establece que se considerarán en esa condición a "aquellas personas que presenten algún defecto en la salud, atribuible a la exposición de uno o más de los contaminantes de interés" y "cuya exposición a polimetales sea producto de habitar y/o trabajar en una zona de riesgo o en situación de riesgo decretado por el Ministerio del Medio Ambiente", además de los "pobladores y ex pobladores que habiten o hayan habitado, según sea el caso, en el perímetro definidos en el Programa Maestro de Intervención de Zonas con Presencia de Polimetales de Arica" (Ministerio del Medio Ambiente, 2012).

10

Esta Ley nace a raíz de la situación de contaminación a la que está expuesta la población que vive en algunos sectores de Arica, y cuya principal fuente de exposición corresponde a los alrededores del sector conocido como Sitio F. En dicho sector están los acopios que fueron ingresados y depositados el año 1984<sup>3</sup>, y donde se llevó a cabo el procesamiento de metales y relaves por parte de privados, los que presentan altos contenidos de plomo y arsénico (Biblioteca del Congreso Nacional, 2009).

Así, el programa de acción establecido por la Ley define diversas iniciativas para los beneficiarios de esta en el ámbito de la salud, educación y vivienda. En el área de la salud, las acciones incluyen la puesta en marcha de un laboratorio de salud pública y ambiental, la realización de estudios epidemiológicos en la población expuesta a la contaminación, y la fiscalización regular de la calidad del agua y de los alimentos (Biblioteca del Congreso Nacional, 2012).

---

<sup>3</sup> Para una breve reseña de la contaminación existente en Arica, ver Rau, Reyes y Urzúa (2015).

En el sector de la educación, las acciones incluyen un reforzamiento para aquellos alumnos beneficiarios con rendimiento deficiente (atención pedagógica, clases de reforzamiento educativo, seguimiento a su rendimiento estudiantil), un plan de apoyo a docentes y asistentes de la educación, la realización de estudios que permitan detectar el daño cognitivo y la afectación que la contaminación por polimetales podría haber provocado en los alumnos beneficiarios, un programa especial de becas de mantención para aquellos de enseñanza media y superior, y la focalización en los alumnos afectados por parte de los distintos programas de la Junta Nacional de Auxilio Escolar y Becas (JUNAEB) (Biblioteca del Congreso Nacional, 2012).

En el ámbito de la vivienda, las acciones se basan en la relocalización de familias, la reparación de viviendas, y la ejecución de proyectos de barrio que apunten a la remediación de las zonas con presencia de polimetales (Biblioteca del Congreso Nacional, 2012).

### 3. Revisión de la literatura

A nivel internacional, existe variada evidencia que da cuenta de los efectos de la exposición al plomo, en particular, las consecuencias en la salud y el desarrollo cognitivo. Banks et al. (1997) encuentra una relación negativa entre los niveles de plomo en la sangre y el coeficiente intelectual de los niños. De hecho, se señala que esta relación se daría incluso en bajos niveles de concentración de plomo en la sangre (Lanphcar et al., 2000; Canfield et al., 2003). El efecto de la presencia de plomo en la sangre puede verse afectado por el nivel socioeconómico y educativo (Tong, McMichael & Baghurst, 2010), si la exposición al plomo fue en un período pre o post natal, e incluso por el clima (Wasserman et al., 2000).

Por otro lado, también existe literatura que expone los efectos de la exposición al plomo en una serie de variables de interés. Por ejemplo, Wolpaw (2007), al utilizar como variación exógena la reducción del plomo en la gasolina mediante una ley en EE.UU., estudió la relación entre la exposición temprana al plomo y el comportamiento violento al momento de cometer delitos, y encontró una relación positiva y estadísticamente significativa.

Clay et al. (2014) analiza la relación entre la concentración de plomo en el agua potable y la mortalidad infantil, y encontró una relación estadísticamente significativa. En efecto, determina que 13 bebés de cada 1000 nacidos murieron en los años noventa como consecuencia de la presencia del plomo en el agua.

En Chile, los efectos de la exposición a la contaminación por plomo también han sido objeto de diversas investigaciones. Así por ejemplo, está el trabajo de Tchernitchin et al. (2005), quienes estudian las principales fuentes de contaminación por plomo en Chile, y advierten que las gasolinas y las pinturas a base de plomo son las fuentes que más contaminan, junto con identificar a Arica y a Antofagasta como ejemplos de ciudades con alta contaminación.

Luego, el trabajo de Coria et al. (2009) evalúa la presencia de secuelas en niños que fueron afectados por plomo en la ciudad de Ñuble hace diez años. Con una muestra de corte transversal, con datos sociodemográficos y junto a la ejecución de una serie de evaluaciones (físicas, coeficiente intelectual, exámenes de laboratorio) se determinó que los niños que han sido expuestos al plomo antes

de los seis años tienen un coeficiente intelectual más bajo que cuando los evalúan diez años después.

Por otro lado, está la investigación de la Escuela de Salud Pública de la Universidad de Chile (2012) que busca determinar si la concentración de plomo en la sangre se asocia con un menor desempeño en la evaluación del coeficiente intelectual. El estudio utiliza datos de una muestra de niños de seis a 15 años, y realiza estimaciones mediante regresión lineal controlando por antecedentes sociodemográficos del niño y de la familia. Así, se encuentra que la relación entre el plomo en la sangre y el coeficiente intelectual es estadísticamente no significativa.

El trabajo de Rau, Reyes y Urzúa (2015) analiza los efectos de la concentración de plomo en la sangre en el rendimiento académico de los estudiantes de Arica. Para esto, y por medio del empleo de una estimación mediante variables instrumentales en dos etapas, donde el instrumento es la distancia entre el hogar del estudiante y el sitio F, se advierte una relación negativa y estadísticamente significativa entre la distancia de los hogares al sitio F y el desempeño académico general (medido por medio del puntaje en la prueba PSU). Además, se observa una relación negativa y estadísticamente significativa entre la concentración de plomo en la sangre y las ganancias mensuales.

Finalmente, el estudio de Rosas, Escobar, Navarro y Tenorio (2016<sup>4</sup>) evalúa si existen diferencias en el rendimiento cognitivo de los niños, dependiendo si son o no beneficiarios de la Ley de Polimetales, y a partir del desarrollo intelectual, las funciones ejecutivas, las habilidades atencionales, el razonamiento fluido y el vocabulario. Sus resultados indican que luego de controlar por la escolaridad de la madre, no existen diferencias significativas en el rendimiento cognitivo de los niños entre ambos grupos.

---

4 Cabe destacar que este estudio fue solicitado el año 2015 por el Centro de Estudios del MINEDUC, en el marco de la Ley de Polimetales.

## 4. Datos

Los datos a utilizar en este documento corresponden, en primer lugar, a la nómina de estudiantes que se empleó en el estudio “Evaluación de impacto por Polimetales en la ciudad de Arica” de Rosas, Escobar, Navarro y Tenorio (2016), los cuales pertenecen a alumnos de la ciudad de Arica, de distintos niveles<sup>5</sup> y edades, tanto en su condición de beneficiarios como no beneficiarios de la Ley de Polimetales.

En segundo lugar, se emplean los datos de la base de rendimiento del Sistema de Información General de Estudiantes (SIGE) del Ministerio de Educación (MINEDUC) para el año 2016, los cuales permiten contar con información del promedio de notas y del porcentaje de asistencia de los estudiantes (sobre los cuales se centrarán los análisis). Estos corresponden a variables de desempeño escolar que no han sido analizadas en estudios previos, y que permiten obtener una medida complementaria al rendimiento académico.

Asimismo, se cuenta con características de los estudiantes (edad, género), situación académica al final del año (reprobado, promovido (aprobado) o retirado), además del establecimiento al cual asisten (RBD, curso, dependencia). En la misma línea, se dispone de información de la Ley de Subvención Escolar Preferencial (SEP), a nivel de estudiante.

En tercer lugar, se cuenta con el Índice de Vulnerabilidad Escolar (IVE-SINAE<sup>6</sup>), además del puntaje promedio SIMCE para las pruebas de matemáticas y lenguaje, ambas bases de datos por establecimiento.

Finalmente, se tiene acceso a información sobre la concentración de plomo en la sangre (medida en ug/dL) de los beneficiarios de la Ley de Polimetales participantes del estudio de Rosas, Escobar, Navarro y Tenorio (2016), proporciona-

---

<sup>5</sup> La muestra consideraba a 438 estudiantes de 1° básico a III° medio en 2015.

<sup>6</sup> El SINAE identifica según prioridades de atención (1°, 2° y 3° prioridad) las desigualdades en que se encuentra la población escolar, con el fin de permitir la posterior entrega de los apoyos específicos que requieran para terminar con éxito sus 12 años de escolaridad. Para dicho efecto, este sistema posibilita la clasificación excluyente de los estudiantes en distintas prioridades de atención, facilitando de este modo que, a largo plazo, los estudiantes que se encuentran en primera prioridad, salgan de su condición de vulnerabilidad. Así, el IVE corresponde al porcentaje de la matrícula que se encuentra en estas tres prioridades.

dos por el Ministerio de Salud (MINSAL). Esta información resulta fundamental debido a que constituye una medida directa de la concentración de plomo en la sangre y permite tener una aproximación más precisa de los efectos que el plomo pueda generar, que lo realizado en el estudio de Rosas, Escobar, Navarro y Tenorio (2016), quienes consideran la condición de beneficiario o no beneficiario de la Ley de Polimetales, la cual no asegura que no existan casos de estudiantes beneficiarios que no hayan estado expuestos a esta contaminación.

Todo lo anterior permite caracterizar a los 415 estudiantes que componen la muestra, de los cuales 202 corresponden a beneficiarios de la Ley de Polimetales y 213 a no beneficiarios. La tabla 1 muestra la distribución de los alumnos según la situación académica al finalizar el año 2016.

**Tabla 1 Situación final según condición, 2016**

	Promovido	Reprobado	Retirado	Sin información
Beneficiarios	199	1	2	0
No beneficiarios	186	4	6	17

Fuente: Elaboración propia en base a datos MINEDUC.

Se puede observar que el grupo de no beneficiarios presenta una mayor cantidad de estudiantes que reprobaron o que se han retirado al final del año 2016, que el grupo de alumnos beneficiarios. Un dato llamativo es que 17 estudiantes no beneficiarios no presentan información en la base de rendimiento, por lo cual no se cuenta con información relevante para ellos. Es posible que dichos estudiantes hayan desertado del sistema escolar, debido a que aparecen en la base de matrícula<sup>7</sup> para el año 2016.

<sup>7</sup> De estos 17 estudiantes, 15 sí cuentan con información en la base de matrícula 2016 (también del SIGE), sin embargo, esta no tiene los datos necesarios para estos análisis. Por esta razón, esta diferencia en la cantidad total de estudiantes no beneficiarios se repite en todas las estadísticas asociadas a estos datos.

Tabla 2 **Distribución por nivel y según condición, 2016**

	Beneficiario	No beneficiario	Total
2° básico	23	24	47
3° básico	19	19	38
4° básico	18	13	31
5° básico	19	13	32
6° básico	17	21	38
7° básico	16	18	34
8° básico	18	18	36
I° medio	18	20	38
II° medio	22	18	40
III° medio	21	15	36
IV° medio	11	17	28
<b>Total</b>	<b>202</b>	<b>196</b>	<b>398</b>

Fuente: Elaboración propia en base a datos MINEDUC.

La tabla 2 presenta la distribución de estos estudiantes según el nivel al cual asisten. Se aprecia que la muestra considera a aquellos que cursan desde 2° básico hasta IV° medio el año 2016, con una distribución relativamente homogénea por medio de los distintos niveles y los dos grupos.

**Tabla 3 Distribución colegios según dependencia, 2016**

Municipal	Particular subvencionado	Total
11	17	18

Fuente: Elaboración propia en base a datos MINEDUC.

Por otro lado, de la tabla 3 se puede apreciar que los estudiantes de la muestra se distribuyen entre 28 establecimientos, de los cuales 11 son municipales y 17 son particulares subvencionados.

**Tabla 4 Prom. notas y asistencia según condición, 2016**

	Beneficiarios			No beneficiarios			Diferencia	p value
	N	Media	Desv. est.	N	Media	Desv. est.		
Prom. notas (est.)		0.09	0.79		0.06	1.12	0.03	0.72
	202			196				
Asistencia		91.97	10.63		90.37	17.22	1.60	0.26

Fuente: Elaboración propia en base a datos MINEDUC.

La tabla 4 muestra el promedio de notas y el porcentaje de asistencia promedio para los estudiantes beneficiarios y no beneficiarios de la Ley de Polimetales. Es importante señalar que las notas de los alumnos han sido estandarizadas por curso en cada colegio<sup>8</sup>, con el fin de hacerlas comparables entre sí. De esta forma, se obtienen valores en torno a cero, donde valores sobre cero indican que el estudiante está mejor que el resto de sus compañeros, mientras que valores bajo cero reflejan que está peor que el resto de sus compañeros. Se observa que, en promedio, los estudiantes beneficiarios se encuentran en una mejor posición relativa que aquellos no beneficiarios. La misma situación ocurre con la asistencia, donde los estudiantes beneficiarios presentan un porcentaje de asistencia promedio mayor que los no beneficiarios. No obstante, ninguna de estas diferencias resulta estadísticamente significativa, es decir, los estudiantes beneficiarios no son distintos de los no beneficiarios en cuanto a sus promedios de notas y porcentajes de asistencia.

<sup>8</sup> Las notas fueron estandarizadas restándoles el promedio del curso al cual asiste el estudiante, y dividiéndolo por la desviación estándar de las notas del curso en cada establecimiento.

Tabla 5 **Promedio notas y asistencia según condición y dependencia, 2016**

	Municipal			Particular subvencionado		
	N	Prom. notas (est.)	Asistencia	N	Prom. notas (est.)	Asistencia
Beneficiarios	64	-0.08	91.45	138	0.17	92.21
No beneficiarios	69	0.18	92.78	127	-0.01	89.06

Fuente: Elaboración propia en base a datos MINEDUC.

Resulta relevante observar las diferencias que pueden existir al considerar la dependencia del establecimiento al cual asisten los estudiantes. Para eso, la tabla 5 entrega tanto el promedio de notas (estandarizado) como el del porcentaje de asistencia según condición y dependencia del establecimiento. Se puede apreciar que<sup>9</sup> en los establecimientos municipales, los estudiantes beneficiarios presentarían una peor posición relativa que los estudiantes no beneficiarios y un menor porcentaje de asistencia, mientras que la situación contraria se produce en los establecimientos particulares subvencionados: los estudiantes no beneficiarios presentarían una situación peor que los beneficiarios y un menor porcentaje de asistencia. Por otro lado, los estudiantes beneficiarios de establecimientos particulares subvencionados se encontrarían en una mejor posición relativa que los beneficiarios de establecimientos municipales y con un mayor porcentaje de asistencia, mientras que los no beneficiarios de establecimientos municipales estarían en una mejor posición relativa y con un mejor porcentaje de asistencia que los no beneficiarios de establecimientos particulares subvencionados.

<sup>9</sup> Estas diferencias solo son significativas para el promedio de notas en los establecimientos municipales y para el porcentaje de asistencia en los establecimientos particulares subvencionados.

**Tabla 6 Promedio notas y asistencia según condición y sexo, 2016**

	Beneficiarios			No beneficiarios		
	N	Prom. notas (est.)	Asistencia	N	Prom. notas (est.)	Asistencia
Masculino	96	0.12	92.14	98	-0.10	89.33
Femenino	106	0.07	91.82	98	0.22	91.41

Fuente: Elaboración propia en base a datos MINEDUC.

Al observar el promedio de notas y el porcentaje de asistencia según el sexo del alumno reportados en la tabla 6, se tiene que<sup>10</sup> del grupo de estudiantes beneficiarios los hombres tendrían una mejor posición relativa y un mayor porcentaje de asistencia que las mujeres, mientras que en el grupo de los no beneficiarios se produce la situación inversa, es decir, las estudiantes no beneficiarias mujeres estarían en una mejor posición relativa y con un mayor porcentaje de asistencia que los estudiantes no beneficiarios hombres. De manera similar, a los estudiantes hombres beneficiarios les iría mejor y tendrían un mayor porcentaje de asistencia que los hombres no beneficiarios, mientras que a las mujeres no beneficiarias les iría mejor que a las mujeres beneficiarias, aunque estas últimas tendrían un mayor porcentaje de asistencia.

19

**Tabla 7 Promedio notas y asistencia según condición, dependencia y sexo, 2016**

		Beneficiarios		No beneficiarios	
		Municipal	Part. subv.	Municipal	Part. subv.
Masculino	N	28	68	37	61
	Prom. notas (est.)	0.02	0.16	0.04	-0.19
	Asistencia	94.32	91.24	93.51	86.79
Femenino	N	36	70	32	66
	Prom. notas (est.)	-0.15	0.18	0.34	0.16
	Asistencia	89.22	93.16	91.94	91.15

Fuente: Elaboración propia en base a datos MINEDUC.

<sup>10</sup> Esta diferencia solo es significativa para el promedio de notas en las estudiantes mujeres.

Es pertinente ahora analizar el promedio de notas y el porcentaje de asistencia desagregando por condición, dependencia del establecimiento y sexo del estudiante. Así, y a partir de la información presente en la tabla 7, se puede observar que<sup>11</sup> del grupo de los estudiantes beneficiarios, las mujeres de establecimientos particulares subvencionados tendrían en promedio la mejor posición relativa, mientras que los hombres de establecimientos municipales tendrían en promedio el mayor porcentaje de asistencia. Por otro lado, del grupo de los estudiantes no beneficiarios, las mujeres de establecimientos municipales tendrían en promedio la mejor posición relativa, mientras que los hombres de establecimientos municipales tendrían en promedio el mayor porcentaje de asistencia.

Siguiendo con la caracterización de los estudiantes de la muestra, la tabla 8 presenta la distribución de estos según condición y clasificación SEP<sup>12</sup>.

Tabla 8: **Distribución según clasificación SEP y condición, 2016**

	Prioritarios	Preferentes	Beneficiarios SEP
Beneficiarios	72%	15%	82%
No beneficiarios	54%	21%	71%

Fuente: Elaboración propia en base a datos MINEDUC.

Se puede advertir que el grupo de estudiantes beneficiarios tiene una mayor concentración de alumnos prioritarios y beneficiarios SEP que el grupo de no beneficiarios, con un 72% y un 82% respectivamente, mientras que el grupo de estudiantes no beneficiarios tiene una mayor concentración de alumnos preferentes con un 21%.

11 Ninguna de estas diferencias es estadísticamente significativa.

12 El artículo 2º de la Ley Nº 20.248, establece que se consideran como "Prioritarios" a los alumnos para quienes la situación socioeconómica de sus hogares dificulte sus posibilidades de enfrentar el proceso educativo; que se consideran como "Preferentes" a los alumnos que no tienen la calidad de alumno prioritario y cuyas familias pertenecen al 80% más vulnerable de la población, según el instrumento de caracterización social vigente (Registro Social de Hogares); y que se considera como "Beneficiarios" de la SEP, a los alumnos prioritarios matriculados en un nivel SEP, en un establecimiento municipal o particular subvencionado con convenio SEP vigente. A contar del año 2016 también se consideran como "Beneficiarios" de la SEP a los alumnos preferentes, matriculados en un nivel SEP y en un establecimiento municipal o particular subvencionado gratuito y que cuente con convenio SEP vigente.

Finalmente, nos centramos en la información de la concentración de plomo en la sangre del grupo de estudiantes beneficiarios de la Ley de Polimetales. Este grupo de estudiantes presenta una concentración promedio de plomo de 1.68  $\mu\text{g/dL}$ , con una desviación estándar de 1.45  $\mu\text{g/dL}$ , mientras que la mediana de la muestra es 0.99  $\mu\text{g/dL}$ , es decir, el 50% del grupo de estudiantes beneficiarios posee una concentración de plomo menor o igual a 0.99  $\mu\text{g/dL}$ . La tabla 9 muestra la distribución del grupo de estudiantes beneficiarios respecto a la concentración de plomo en la sangre.

**Tabla 9 Distribución según concentración de plomo en la sangre**

Conc. Plomo ( $\mu\text{g/dL}$ )	Nº estudiantes	Porcentaje	Frec. acumulada
0	3	1.49%	1.49%
0.99	99	49.01%	50.50%
1	30	14.85%	65.35%
1.08	1	0.50%	65.84%
2	36	17.82%	83.66%
3	18	8.91%	92.57%
3.99	1	0.50%	93.07%
4	5	2.48%	95.54%
5	6	2.97%	98.51%
7	1	0.50%	99.01%
11	1	0.50%	99.50%
12	1	0.50%	100%
<b>Total</b>	<b>202</b>		<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia en base a datos MINSAL.

Así, se tiene que más del 90% de los estudiantes beneficiarios se concentra en valores menores o iguales a 3  $\mu\text{g/dL}$ , que son valores considerados bajos<sup>13</sup> de acuerdo a estándares internacionales (Escuela de Salud Pública Universidad de Chile, 2012).

<sup>13</sup> En efecto, y de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud, valores inferiores a 10  $\mu\text{g/dL}$  se consideran bajos, mientras que se considera intoxicación por plomo valores sobre los 15  $\mu\text{g/dL}$ .

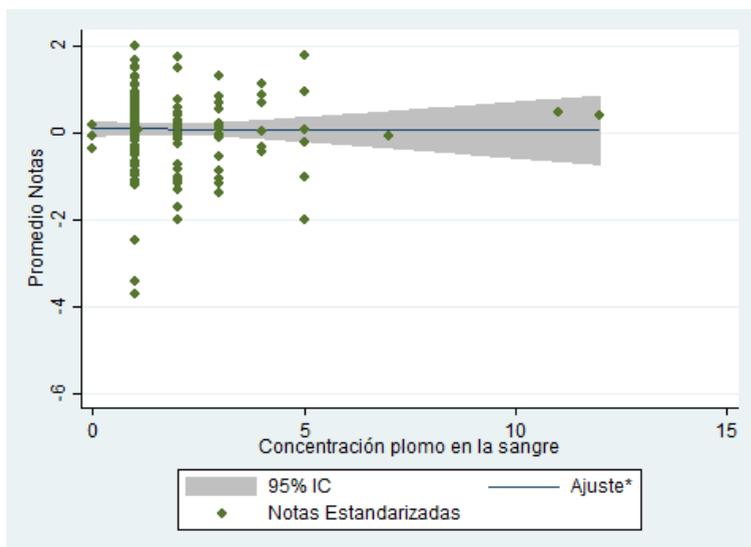
## 5. Relación entre concentración de plomo en la sangre y el desempeño escolar

El objetivo de esta sección es determinar si existe relación entre la concentración de plomo en la sangre presente en el grupo de estudiantes beneficiarios de la muestra y el desempeño escolar, que, en este caso, se analizará como el promedio de notas (estandarizado) y el porcentaje de asistencia obtenido a final de año.

### 5.1 Correlación simple

Un primer análisis exploratorio consiste en calcular una correlación simple entre la concentración de plomo en la sangre, y el promedio de notas y el porcentaje de asistencia. Este cálculo se reporta en los gráficos 1 y 2, respectivamente.

Gráfico 1 **Relación entre promedio de notas (estandarizado) y concentración de plomo en la sangre, 2016**

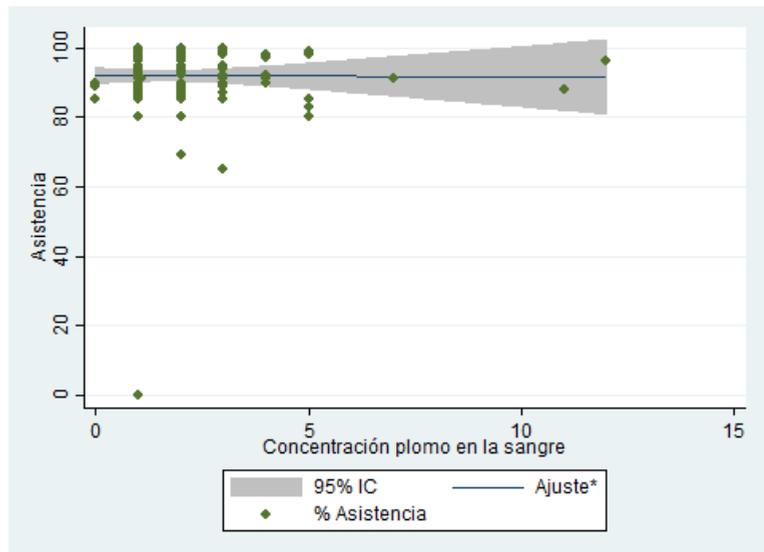


Nota: \*Estimación mediante regresión lineal ajustada.

Fuente: Elaboración propia en base a datos MINEDUC y MINSAL.

Se puede constatar que no existe una relación clara<sup>14</sup> entre la concentración de plomo en la sangre de los estudiantes beneficiarios de la Ley de Polimetales y el promedio de notas al final del año 2016. Es decir, no se observa una tendencia entre una mayor o menor concentración de plomo en la sangre y el promedio de notas, ya que para todos los valores de concentración, se perciben tanto posiciones relativas favorables como desfavorables para cada valor de concentración de plomo en la sangre.

Gráfico 2 **Relación entre porcentaje de asistencia y concentración de plomo en la sangre, 2016**



Nota: \*Estimación mediante regresión lineal ajustada.

Fuente: Elaboración propia en base a datos MINEDUC y MINSAL.

La misma situación se evidencia para el caso entre la concentración de plomo en la sangre y el porcentaje de asistencia del grupo de estudiantes beneficiarios. Es decir, tampoco existe una relación clara entre estas dos variables.

<sup>14</sup> Es importante destacar que la correlación mide la existencia de una relación lineal entre dos variables, y la no existencia de correlación indica que no existe una relación lineal entre estas variables, por lo que no puede descartarse la presencia de alguna relación no lineal entre ellas.

## 5.2 Estimación mediante Mínimos Cuadrados Ordinarios

Corresponde considerar otras estrategias<sup>15</sup> para determinar la posible relación entre la concentración de plomo en la sangre, y el promedio de notas y el porcentaje de asistencia. Para esto, y entendiendo que los datos son de corte transversal, se estimarán modelos mediante Mínimos Cuadrados Ordinarios bajo distintas especificaciones. Un primer modelo a estimar (modelo 1) es el siguiente:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 CP_i + \beta_2 X_i + u_i$$

Donde  $Y_i$  es la variable dependiente de este modelo y, en esta oportunidad, corresponderá al promedio de notas (estandarizado) en un caso, y al porcentaje de asistencia del estudiante  $i$  en otro. Por su parte,  $CP_i$  corresponde a la concentración de plomo en la sangre ( $ug/dL$ ) del estudiante  $i$ ;  $X_i$  corresponde a un vector de variables de control que incluye características del estudiante  $i$  como sexo, edad, edad al cuadrado<sup>16</sup>, una variable *dummy* que indica si el estudiante es prioritario o no según clasificación SEP, además de características del establecimiento al cual asiste, como la dependencia, el IVE de básica y media, y el puntaje promedio en las pruebas SIMCE de lenguaje y matemática de 8° básico y II° medio<sup>17</sup>. Finalmente,  $u_i$  es el término de error del modelo. En este caso, el coeficiente de interés es  $\beta_1$ . La tabla 10 entrega los resultados de la estimación del modelo 1.

24

<sup>15</sup> Como ejercicio adicional, se estimaron todos los modelos que se presentan en esta sección utilizando como variable dependiente la medida de CI total empleada en Rosas et al. (2016), encontrándose que no existe una relación estadísticamente significativa entre el CI total y la concentración de plomo en la sangre. Estos resultados pueden ser revisados en la tabla A6 del anexo.

<sup>16</sup> Se incluye la edad al cuadrado para ver la tasa de crecimiento que tiene esta variable sobre la variable dependiente.

<sup>17</sup> Los puntajes SIMCE fueron estandarizados por prueba para hacerlos comparables entre sí. De esta forma, se considera el hecho de que hay establecimientos que solo tienen puntaje SIMCE en 8° básico, que solo tienen puntaje SIMCE de II° medio o tienen ambos puntajes.

Tabla 10 **Resultados estimación MCO Modelo 1**

Variables	(1)	(2)
	Prom. notas	Asistencia
Concentración Plomo	0.0180 (0.0449)	0.0257 (0.425)
Constante	-1.141 (1.835)	82.61*** (22.10)
Observaciones	139	139
R-cuadrado	0.035	0.113
<b>Controles</b>		
Características del estudiante	Sí	Sí
Características del establecimiento	Sí	Sí

Nota: Errores estándar robustos entre paréntesis. Variables significativas al 1% \*\*\*, al 5% \*\*, al 10% \*.  
 Fuente: Elaboración propia en base a datos MINEDUC y MINSAL.

Se puede observar que en el modelo 1 el efecto de la concentración de plomo en la sangre no es estadísticamente significativo ni en el promedio de notas ni en el porcentaje de asistencia, controlando por características del estudiante y del establecimiento. Dichos controles tampoco resultan ser estadísticamente significativos<sup>18</sup> para ninguna de las dos variables dependientes, a excepción de la variable que indica si el alumno es prioritario bajo clasificación SEP, la cual es estadísticamente significativa al 10% para el porcentaje de asistencia. Lo anterior quiere decir que el hecho de ser un estudiante prioritario afecta negativamente el porcentaje de asistencia que obtiene el estudiante al finalizar el año escolar.

<sup>18</sup> Los resultados de las estimaciones con los controles desagregados se presentan en los anexos.

En un segundo modelo a estimar se incorporan no linealidades a la especificación a raíz de lo que se evidenció en la sección anterior, donde podría haber diferencias entre los estudiantes si se considera la dependencia del establecimiento al que asiste. De esta forma, el segundo modelo a estimar (modelo 2) es el siguiente:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 CP_i + \beta_2 D_i + \beta_3 (CP_i \times D_i) + \beta_4 X_i + u_i$$

Donde todas las variables son las mismas que las definidas en el modelo 1, a excepción de la incorporación de la no linealidad mediante la variable interactiva  $CP_i \times D_i$  donde  $CP_i$  es la concentración de plomo en la sangre y  $D_i$  es una variable *dummy* que toma el valor 1 si es que la dependencia del establecimiento al cual asiste el estudiante  $i$  es municipal. De este modo, esta interacción captura el efecto de la concentración de plomo en la sangre de los estudiantes que asisten a establecimientos municipales respecto de los estudiantes que asisten a establecimientos particulares subvencionados, dado por  $\beta_3$ . La tabla 11 muestra los resultados de la estimación del modelo 2.

26

Tabla 11 **Resultados estimación MCO Modelo 2**

Variables	(1)	(2)
	Prom. notas	Asistencia
Concentración Plomo	0.0243 (0.0478)	0.130 (0.426)
Municipal = 1	0.226 (14.24)	2.911 (206.1)
Concentración Plomo x Municipal	-0.123 (14.30)	-2.028 (93.04)
Constante	-1.025 (2.586)	84.52 (624.5)
Observaciones	139	139
R-cuadrado	0.038	0.127
Controles		
Características del estudiante	Sí	Sí
Características del establecimiento	Sí	Sí

Nota: Errores estándar robustos entre paréntesis. Variables significativas al 1% \*\*\*, al 5% \*\*, al 10% \*. Fuente: Elaboración propia en base a datos MINEDUC y MINSAL.

Los resultados de las estimaciones del modelo 2 muestran que el efecto de la concentración de plomo en la sangre para los estudiantes que asisten a establecimientos municipales no es estadísticamente significativo tanto en el promedio de notas como en el porcentaje de asistencia, controlando por características del alumno y del establecimiento. Tampoco resultan ser estadísticamente significativas la concentración de plomo en la sangre y la dependencia del establecimiento por sí solas en las variables dependientes. Los controles nuevamente resultan ser estadísticamente no significativos tanto en el promedio de notas como en el porcentaje de asistencia, salvo si el estudiante es prioritario SEP, lo cual es estadísticamente significativo al 10% en el porcentaje de asistencia. Lo anterior quiere decir que el hecho de ser un estudiante prioritario afecta negativamente el porcentaje de asistencia que este obtiene al finalizar el año escolar.

Un tercer modelo a evaluar también incorpora no linealidades a la estimación, esta vez si se tiene en cuenta que pueden existir diferencias entre los estudiantes al considerar el sexo de estos. Así, el tercer modelo (modelo 3) es el siguiente:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 CP_i + \beta_2 S_i + \beta_3 (CP_i \times S_i) + \beta_4 X_i + u_i$$

Donde todas las variables son las mismas que las definidas en los modelos anteriores, salvo la incorporación de la no linealidad mediante la variable interactiva  $CP_i \times S_i$  donde  $CP_i$  es, al igual que los modelos anteriores, la concentración de plomo en la sangre y  $S_i$  es una variable *dummy* que toma valor 1 si el estudiante  $i$  es hombre. Así, esta variable interactiva captura el efecto de la concentración de plomo en la sangre en los estudiantes hombres respecto a las estudiantes mujeres, dado por  $\beta_3$ . La tabla 12 muestra los resultados de la estimación del modelo 3.

Tabla 12 **Resultados estimación MCO Modelo 3**

Variables	(1)	(2)
	Prom. notas	Asistencia
Concentración Plomo	0.0500 (0.0933)	-0.434 (0.613)
Sexo (Hombre = 1)	0.0514 (0.222)	-2.201 (1.560)
Concentración Plomo x Sexo	-0.0636 (0.122)	0.915 (0.793)
Constante	-1.162 (2.047)	82.91*** (21.55)
Observaciones	139	139
R-cuadrado	0.039	0.129
<b>Controles</b>		
Características del estudiante	Sí	Sí
Características del establecimiento	Sí	Sí

Nota: Errores estándar robustos entre paréntesis. Variables significativas al 1% \*\*\*, al 5% \*\*, al 10% \*.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos MINEDUC y MINSAL.

Se puede apreciar que el efecto de la concentración de plomo en la sangre para los estudiantes hombres no es estadísticamente significativo tanto en el promedio de notas como en el porcentaje de asistencia, controlando por características del estudiante y del establecimiento. Tampoco resultan ser estadísticamente significativos la concentración de plomo en la sangre y el sexo del estudiante por sí solos en las variables dependientes. Los controles nuevamente resultan ser estadísticamente no significativos tanto en el promedio de notas como en el porcentaje de asistencia, salvo si el alumno es prioritario SEP, el cual es estadísticamente significativo solo al 10% en el porcentaje de asistencia.

Respecto de las especificaciones que incorporan no linealidades, se introducirá una variación en la variable relativa a la concentración de plomo en la sangre. Tal como se señaló en la sección anterior, el 50% del grupo de estudiantes beneficiarios presenta concentraciones menores o iguales a  $0.99 \mu\text{g}/\text{dL}$ . Con esto, se dividirá a la muestra de estudiantes beneficiarios, creando una variable *dummy* de la concentración de plomo en la sangre,  $\text{Conc}_1$ , la cual

tomará valor 1 si el estudiante  $i$  tiene una concentración de plomo en la sangre superior a  $0.99 \mu\text{g/dL}$ . De esta forma, un cuarto modelo a estimar (modelo 4) es el siguiente:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \text{Conc}_i + \beta_2 D_i + \beta_3 (\text{Conc}_i \times D_i) + \beta_4 X_i + u_i$$

Esta especificación es similar a la del modelo 2, donde todas las variables son las mismas definidas en los otros modelos, menos la inclusión de la variable *dummy* de concentración de plomo en la sangre definida en el párrafo anterior. Dado esto, se tiene que  $\beta_3$  entregará el efecto de tener una concentración superior a  $0.99 \mu\text{g/dL}$  en los estudiantes que asisten a establecimientos municipales respecto a los estudiantes que asisten a establecimientos particulares subvencionados. La tabla 13 muestra los resultados de la estimación del modelo 4.

**Tabla 13                      Resultados estimación MCO Modelo 4**

Variables	(1)	(2)
	Prom. notas	Asistencia
Concentración = 1	0.0320 (0.140)	0.952 (1.076)
Municipal = 1	0.0539 (0.743)	-0.361 (5.977)
Concentración x Municipal = 1	-0.0442 (0.380)	0.319 (3.185)
Constante	-1.107 (2.066)	82.36*** (17.64)
Observaciones	139	139
R-cuadrado	0.034	0.120
<b>Controles</b>		
Características del estudiante	Sí	Sí
Características del establecimiento	Sí	Sí

Nota: Errores estándar robustos entre paréntesis. Variables significativas al 1% \*\*\*, al 5% \*\*, al 10% \*.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos MINEDUC y MINSAL.

Los resultados entregados por la tabla 11 muestran que el efecto de tener una concentración de plomo en la sangre mayor a  $0.99 \text{ ug/dL}$  en los alumnos que asisten a establecimientos municipales no es estadísticamente significativo tanto en el promedio de notas como en el porcentaje de asistencia, controlando por características del estudiante y del establecimiento. Tampoco resulta ser estadísticamente significativo el tener concentración de plomo en la sangre mayor a  $0.99 \text{ ug/dL}$  y la dependencia del establecimiento por sí sola en las variables dependientes. Los controles nuevamente resultan ser estadísticamente no significativos tanto en el promedio de notas como en el porcentaje de asistencia, salvo si el estudiante es prioritario SEP, el cual es estadísticamente significativo al 5% en el porcentaje de asistencia.

Finalmente, un quinto modelo a estimar es similar a la especificación del modelo 3, pero que incorpora la variable *dummy* de concentración de plomo en la sangre. De esta manera, un quinto modelo a estimar (modelo 5) es el siguiente:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \text{Conc}_i + \beta_2 S_i + \beta_3 (\text{Conc}_i \times S_i) + \beta_4 X_i + u_i$$

Donde todas las variables son las mismas que las definidas en los modelos anteriores, incluyendo  $\text{Conc}_i \times S_i$  la que tomará valor 1 si el estudiante  $i$  tiene una concentración de plomo en la sangre superior a  $0.99 \text{ ug/dL}$ . Luego,  $\beta_3$  entregará el efecto de tener una concentración superior a  $0.99 \text{ ug/dL}$  en los estudiantes hombres respecto a las estudiantes mujeres. La tabla 14 entrega los resultados de la estimación del modelo 5.



Es importante destacar que todas las estimaciones realizadas consideran los supuestos que la metodología de MCO implica para que estas sean válidas, en particular, la homocedasticidad<sup>19</sup> y la normalidad<sup>20</sup> de los errores. Es así que se estimaron errores estándar robustos para controlar por potenciales problemas de heterocedasticidad, mientras que para corregir la no normalidad<sup>21</sup> de los errores se utilizaron simulaciones *bootstrap* con el fin de computar los intervalos de confianza (Cameron & Trivedi, 2009).

Sin embargo, otro de los supuestos de identificación bajo la estimación MCO es que no existen variables omitidas relevantes. Así, se aplicó un test RESET de Ramsey<sup>22</sup>, indicando que pueden existir variables omitidas para los modelos en los que la variable dependiente es el porcentaje de asistencia. Esto puede ocurrir si se entiende que existe una serie de factores que puede afectar el desempeño escolar. Si bien se controla por la mayor cantidad de variables disponibles y que teóricamente son relevantes (como contexto socioeconómico, características del establecimiento, etc.), lo anterior podría representar una potencial fuente de endogeneidad.

32

---

19 Homocedasticidad hace referencia a igual varianza de los errores. Cuando esto no se cumple, se dice que los errores son heterocedásticos.

20 La normalidad de los errores resulta crucial para realizar inferencia a partir de las estimaciones realizadas, ya que la no normalidad de los errores invalida la realización de los test de hipótesis y la construcción de los intervalos de confianza (Cameron & Trivedi, 2005).

21 En las estimaciones realizadas se aplicó un test de normalidad de los errores, cuya hipótesis nula es que los errores se distribuyen de forma normal. Los resultados del test rechazaron esta hipótesis, y descartaron la normalidad de los errores.

22 El test RESET (Regression Equation Specification Error Test) de Ramsey tiene como hipótesis nula que el modelo no posee variables omitidas. Los resultados del test para los modelos con el porcentaje de asistencia como variable dependiente rechazaron esta hipótesis, es decir, pueden existir variables omitidas en el modelo.

## 6. Conclusiones

El presente documento se planteó como objetivo analizar si existen diferencias en variables relativas al desempeño escolar que corresponden al promedio de notas estandarizado y al porcentaje de asistencia en los alumnos expuestos a la contaminación por polimetales en la ciudad de Arica. Se debe considerar que estudios anteriores no han analizado estas variables y que algunos no han contado con una medida directa de la concentración de plomo en la sangre de los estudiantes, entendiendo que la condición de beneficiario de la Ley de Polimetales es una medida indirecta de la exposición a contaminación por plomo.

Para tal objetivo, se utilizó la muestra del estudio de Rosas, Escobar, Navarro y Tenorio (2016) que corresponde a la última investigación realizada en nuestro país sobre el tema, además de información sobre el nivel de concentración de plomo en la sangre de los estudiantes beneficiarios de la Ley de Polimetales obtenida para la presente investigación, junto al porcentaje de asistencia, el promedio de notas de los estudiantes, y las características de estos y de los establecimientos a los cuales asisten.

En un primer análisis no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los estudiantes beneficiarios y no beneficiarios de la Ley de Polimetales, tanto en el promedio de notas como en el porcentaje de asistencia, el cual fue estandarizado por curso y en cada establecimiento para hacerlo comparable.

Posteriormente, y al utilizar la concentración de plomo en la sangre de los estudiantes beneficiarios de la Ley, se buscó determinar si existe una relación entre esta concentración y el promedio de notas y el porcentaje de asistencia del alumno. De esta manera, y mediante estimaciones MCO controlando por características del estudiante y del establecimiento al que asiste, no se encontró ninguna relación estadísticamente significativa entre

la concentración de plomo en la sangre, y el promedio de notas y el porcentaje de asistencia del estudiante bajo todos los modelos estimados. Estos resultados son consistentes con los hallados en el estudio de la Escuela de Salud Pública de la Universidad de Chile (2012) y en el trabajo de Rosas, Escobar, Navarro y Tenorio (2016). Es decir, que no existen diferencias entre los distintos estudiantes luego de controlar por sus características sociodemográficas.

En base a lo anterior, surgen dos posibles explicaciones para estos resultados. En primer lugar, es relevante tener referencia de los niveles de concentración de plomo en la sangre que presentan los estudiantes beneficiarios de la Ley. En efecto, y tal como se señaló en la sección IV, los estudiantes beneficiarios presentan niveles considerados bajos de acuerdo a estándares internacionales, lo que puede determinar que no existan efectos significativos del plomo en la sangre sobre este grupo de alumnos, lo que redundaría en la no existencia de una relación clara entre la concentración y las variables de interés analizadas.

En segundo lugar, es posible que la inexistencia de diferencias entre los distintos estudiantes y la relación estadísticamente no significativa entre la concentración de plomo en la sangre, y el porcentaje de asistencia y el promedio de notas se deba a una consecuencia de las acciones de mitigación que se enmarcan en la Ley de Polimetales. Estas comenzaron a finales de los años noventa e incluyen una serie de medidas de apoyo educativo y en materia de salud para los estudiantes beneficiarios, como reforzamiento para aquellos con rendimiento deficiente, becas de manutención para aquellos de educación básica y media, la focalización en los beneficiarios por parte de los distintos programas de la Junta Nacional de

Auxilio Escolar y Becas, entre otras, y que pueden haber permitido que los estudiantes beneficiarios presenten un desempeño escolar similar al de los no beneficiarios. No obstante, y al igual como se establece en Rosas, Escobar, Navarro y Tenorio (2016), esto es una hipótesis que debe ser testeada, y queda como desafío para próximos trabajos sortear las dificultades metodológicas que eso impone<sup>23</sup>.

Finalmente, y como en toda metodología econométrica de estimación, se hace necesario siempre tener en consideración las limitaciones de esta a la hora de analizar los resultados. Estas estimaciones fueron realizadas asumiendo los supuestos de identificación más importantes del método MCO. Sin embargo, y tal como se mencionó anteriormente, el no incluir algún factor que pueda afectar estas variables de desempeño escolar podría ser una potencial fuente de endogeneidad.

---

<sup>23</sup> Una evaluación de impacto permitiría obtener un efecto causal entre los beneficios que contempla la Ley de Polimetales y el desempeño escolar de los estudiantes beneficiarios.

## Bibliografía

Banks, E., Ferretti, L., & Schucard, D. (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.

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (18 de Noviembre de 2009). Historia de la Ley 20.590. Mensaje en Sesión 114, Legislatura 257. Recuperado el 15 de Marzo de 2017, de <http://www.bcn.cl/historiadelaley/nc/historia-de-la-ley/4436/>

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (29 de Mayo de 2012). Ley 20.590. Recuperado el 16 de Marzo de 2017, de <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1040447>

Cameron, A. C., & Trivedi, P. K. (2005). *Microeconometrics. Methods and Applications*. Cambridge University Press.

36

Cameron, A. C., & Trivedi, P. K. (2009). *Microeconometrics Using Stata*. Stata Press.

Canfield, R., Henderson, C., Cory-Slechta, D., Cox, C., Jusko, T., & Lanphear, B. (2003). Intellectual impairment in children with blood lead concentrations below 10 $\mu\text{g}$  per deciliter. *The New England Journal of Medicine*, 348(16), 1517-1526.

Clay, K., Troesken, W., & Haines, M. (2014). Lead and Mortality. *The Review of Economics and Statistics*, 96(3), 458-470.

Coria, C., Cabello, A., Tassara, E., López, E., Rosales, H., Pérez, M., . . . Kirsten, L. (2009). Efectos clínicos a largo plazo en niños intoxicados con plomo en una región del sur de Chile. *Revista Médica de Chile*, 137(8), 1037-1044.

Escuela de Salud Pública Universidad de Chile. (2012). Estudio características Cognitivas de niños expuestos a Plomo en la Ciudad de Arica, Chile.

Lanphear, B., Dietrich, K., Auinger, P., & Cox, C. (2000). Cognitive deficits associated with blood lead concentrations 10  $\mu\text{g}/\text{dL}$  in US children and adolescents. *Public Health Reports*, 115(6), 521-529.

Ministerio del Medio Ambiente. (15 de Noviembre de 2012). Reglamento de la Ley 20.590. Recuperado el 16 de Marzo de 2017, de [http://www.mma.gob.cl/1304/articles-51182\\_acuerdo29\\_2012.pdf](http://www.mma.gob.cl/1304/articles-51182_acuerdo29_2012.pdf)

Rau, T., Reyes, L., & Urzúa, S. (2015). Early Exposure to Hazardous Waste and Academic Achievement: Evidence from a Case of Environmental Negligence. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 2(4), 527-563.

Rosas, R., Escobar, P., Navarro, V., & Tenorio, M. (2016). Evaluación de Impacto por Polimetales en la ciudad de Arica. CEDETi UC.

Tchernitchin, A., Nina, L., Molina, L., Molina, G., Tchernitchin, N., Acevedo, C., & Alonso, P. (2005). Human exposure to lead in Chile. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 185(6), 93-139.

Tong, S., McMichael, A., & Baghurst, P. (2000). Interactions between environmental lead exposure and sociodemographic factors on cognitive development. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 55(5), 330-335.

Wasserman, G., Liu, X., Popovac, D., Factor-Litvak, P., Kline, J., Waternaux, C., . . . Graziano, J. (2000). The Yugoslavia prospective lead study: contributions of prenatal and postnatal lead exposure to early exposure to early intelligence. *Neurotoxicology and Teratology*, 22(6), 811-818.

Wolpaw, J. (2007). Environmental Policy as Social Policy? The Impact of Childhood Lead Exposure on Crime. *The B.E. Journal of Economic Analysis and Policy*, 7(1).

## Anexos

Tabla A1 **Resultados estimación MCO Modelo 1**

Variables	(1)	(2)
	Prom. notas	Asistencia
Concentración Plomo	0.0180 (0.0449)	0.0257 (0.425)
<b>Características del estudiante</b>		
Sexo (Hombre = 1)	-0.0494 (0.146)	-0.752 (0.965)
Edad	0.212 (0.229)	-0.769 (1.336)
Edad al cuadrado	-0.00872 (0.00942)	0.0344 (0.0544)
Prioritario = 1	0.000687 (0.136)	-1.905* (1.032)
<b>Características del establecimiento</b>		
Municipal = 1	0.0332 (0.626)	-0.274 (6.994)
IVE Básica	-0.326 (8.748)	-6.389 (101.7)
IVE Media	0.653 (7.258)	26.64 (78.60)
Simce Matemática 8° básico	-0.392 (0.643)	3.039 (5.814)
Simce Lenguaje 8° básico	0.269 (0.557)	-3.971 (4.814)
Simce Matemática II° medio	0.115 (0.680)	1.723 (5.838)
Simce Lenguaje II° medio	-0.196 (0.623)	2.280 (5.851)
Constante	-1.141 (1.835)	82.61*** (22.10)
Observaciones	139	139
R-cuadrado	0.035	0.113

Nota: Errores estándar robustos entre paréntesis. Variables significativas al 1% \*\*\*, al 5% \*\*, al 10% \*.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos MINEDUC y MINSAL.

Tabla A2 **Resultados estimación MCO Modelo 2**

Variables	(1)	(2)
	Prom. notas	Asistencia
Concentración Plomo	0.0243 (0.0478)	0.130 (0.426)
Municipal = 1	0.226 (14.24)	2.911 (206.1)
Concentración Plomo x Municipal = 1	-0.123 (14.30)	-2.028 (93.04)
<b>Características del estudiante</b>		
Sexo (Hombre = 1)	-0.0435 (0.144)	-0.655 (0.991)
Edad	0.209 (0.230)	-0.822 (1.403)
Edad al cuadrado	-0.00866 (0.00947)	0.0354 (0.0575)
Prioritario = 1	0.00725 (0.138)	-1.796* (1.031)
<b>Características del establecimiento</b>		
IVE Básica	-0.843 (11.89)	-14.93 (2,535)
IVE Media	1.055 (9.529)	33.28 (1,783)
Simce Matemática 8° básico	-0.378 (0.678)	3.257 (32.30)
Simce Lenguaje 8° básico	0.232 (0.574)	-4.592 (29.92)
Simce Matemática II° medio	0.0585 (0.700)	0.781 (21.08)
Simce Lenguaje II° medio	-0.126 (0.634)	3.426 (22.32)
Constante	-1.025 (2.586)	84.52 (624.5)
Observaciones	139	139
R-cuadrado	0.038	0.127

Nota: Errores estándar robustos entre paréntesis. Variables significativas al 1% \*\*\*, al 5% \*\*, al 10% \*.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos MINEDUC y MINSAL.

Tabla A3 **Resultados estimación MCO Modelo 3**

Variables	(1)	(2)
	Prom. notas	Asistencia
Concentración Plomo	0.0500 (0.0933)	-0.434 (0.613)
Sexo (Hombre = 1)	0.0514 (0.222)	-2.201 (1.560)
Concentración Plomo x Sexo = 1	-0.0636 (0.122)	0.915 (0.793)
<b>Características del estudiante</b>		
Edad	0.211 (0.228)	-0.748 (1.372)
Edad al cuadrado	-0.00867 (0.00936)	0.0337 (0.0564)
Prioritario = 1	-0.00601 (0.148)	-1.808* (0.950)
<b>Características del establecimiento</b>		
Municipal = 1	0.0536 (0.665)	-0.567 (6.571)
IVE Básica	-0.126 (9.522)	-9.259 (90.72)
IVE Media	0.438 (7.807)	29.73 (71.23)
Simce Matemática 8° básico	-0.443 (0.727)	3.781 (7.488)
Simce Lenguaje 8° básico	0.324 (0.635)	-4.757 (6.319)
Simce Matemática II° medio	0.176 (0.744)	0.857 (7.542)
Simce Lenguaje II° medio	-0.277 (0.684)	3.445 (7.398)
Constante	-1.162 (2.047)	82.91*** (21.55)
Observaciones	139	139
R-cuadrado	0.039	0.129

Nota: Errores estándar robustos entre paréntesis. Variables significativas al 1% \*\*\*, al 5% \*\*, al 10% \*.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos MINEDUC y MINSAL.

Tabla A4 **Resultados estimación MCO Modelo 4**

Variables	(1)	(2)
	Prom. notas	Asistencia
Concentración = 1	0.0320 (0.140)	0.952 (1.076)
Municipal = 1	0.0539 (0.743)	-0.361 (5.977)
Concentración x Municipal = 1	-0.0442 (0.380)	0.319 (3.185)
<b>Características del estudiante</b>		
Sexo (Hombre = 1)	-0.0423 (0.149)	-0.756 (0.954)
Edad	0.208 (0.238)	-0.739 (1.338)
Edad al cuadrado	-0.00860 (0.00985)	0.0353 (0.0549)
Prioritario = 1	0.00395 (0.144)	-2.017** (0.884)
<b>Características del establecimiento</b>		
IVE Básica	-0.255 (10.19)	-9.520 (79.78)
IVE Media	0.585 (8.273)	28.97 (63.62)
Simce Matemática 8° básico	-0.408 (0.674)	3.138 (6.095)
Simce Lenguaje 8° básico	0.281 (0.565)	-4.069 (5.157)
Simce Matemática II° medio	0.120 (0.726)	1.852 (5.753)
Simce Lenguaje II° medio	-0.199 (0.659)	2.221 (5.882)
Constante	-1.107 (2.066)	82.36*** (17.64)
Observaciones	139	139
R-cuadrado	0.034	0.120

Nota: Errores estándar robustos entre paréntesis. Variables significativas al 1% \*\*\*, al 5% \*\*, al 10% \*.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos MINEDUC y MINSAL.

Tabla A5 **Resultados estimación MCO Modelo 5**

Variables	(1)	(2)
	Prom. notas	Asistencia
Concentración = 1	0.154 (0.198)	0.459 (1.398)
Sexo (Hombre = 1)	0.0769 (0.198)	-1.243 (1.353)
Concentración x Sexo = 1	-0.271 (0.262)	1.127 (1.900)
<b>Características del estudiante</b>		
Edad	0.213 (0.234)	-0.753 (1.324)
Edad al cuadrado	-0.00885 (0.00961)	0.0361 (0.0545)
Prioritario = 1	-0.000239 (0.139)	-2.000** (0.967)
<b>Características del establecimiento</b>		
Municipal = 1	0.0978 (0.686)	-0.474 (6.109)
IVE Básica	-0.473 (9.461)	-8.853 (90.87)
IVE Media	0.788 (7.821)	28.32 (71.84)
Simce Matemática 8° básico	-0.453 (0.668)	3.334 (6.234)
Simce Lenguaje 8° básico	0.317 (0.564)	-4.235 (5.239)
Simce Matemática II° medio	0.201 (0.706)	1.498 (6.054)
Simce Lenguaje II° medio	-0.282 (0.636)	2.595 (5.762)
Constante	-1.158 (2.093)	82.59*** (19.08)
Observaciones	139	139
R-cuadrado	0.043	0.123

Nota: Errores estándar robustos entre paréntesis. Variables significativas al 1% \*\*\*, al 5% \*\*, al 10% \*.

Fuente: Elaboración propia en base a datos MINEDUC y MINSAL.

Tabla A6 **Resultados estimación MCO para CI Total**

VARIABLES	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Concentración Plomo	-0.427 (0.637)	-0.362 (0.616)	-1.133 (1.001)		
Concentración Plomo x Municipal = 1		-1.257 (186.0)			
Concentración Plomo x Sexo = 1			1.423 (1.477)		
Concentración = 1				1.554 (2.151)	0.241 (2.405)
Concentración x Municipal = 1				-2.430 (6.987)	
Concentración x Sexo = 1					2.413 (3.584)
<b>Características del estudiante</b>					
Promedio Notas (estandarizado)	7.200*** (1.194)	7.185*** (1.189)	7.393*** (1.263)	7.146*** (1.202)	7.207*** (1.232)
Porcentaje Asistencia	-0.404** (0.178)	-0.414** (0.178)	-0.444** (0.179)	-0.418** (0.170)	-0.426** (0.171)
Sexo (Hombre = 1)	2.154 (1.989)	2.219 (2.149)	-0.203 (3.149)	2.051 (2.087)	0.836 (2.872)
Edad	-9.472*** (2.946)	-9.486*** (2.709)	-9.501*** (2.806)	-9.025*** (3.061)	-9.238*** (2.828)
Edad al cuadrado	0.351*** (0.122)	0.351*** (0.111)	0.353*** (0.115)	0.338*** (0.126)	0.348*** (0.115)
Prioritario = 1	-1.594 (1.748)	-1.538 (1.746)	-1.513 (1.844)	-1.935 (1.774)	-2.034 (1.743)
<b>Características del establecimiento</b>					
IVE Básica	-53.16 (278.0)	-58.64 (653.2)	-60.22 (221.6)	-72.20 (287.7)	-64.23 (271.9)
IVE Media	34.69 (205.6)	39.25 (278.4)	42.70 (168.1)	51.15 (213.4)	44.47 (203.1)
Simce Matemática 8° básico	20.35 (16.07)	20.48 (178.4)	21.58 (16.60)	21.91 (16.78)	21.98 (16.24)
Simce Lenguaje 8° básico	-19.34 (11.90)	-19.74 (166.3)	-20.72 (12.87)	-21.18* (12.41)	-20.93* (11.85)
Simce Matemática II° medio	0.763 (14.64)	0.226 (196.6)	-0.509 (14.19)	0.309 (15.53)	-0.00214 (14.98)
Simce Lenguaje II° medio	12.26 (14.96)	12.97 (189.8)	14.19 (14.39)	13.55 (15.33)	13.57 (14.76)
Municipal = 1	1.741 (20.26)	3.810 (180.5)	1.343 (16.71)	3.074 (21.40)	1.244 (19.79)
Constante	205.9*** (63.63)	207.8 (297.0)	210.1*** (50.63)	204.9*** (64.23)	206.2*** (62.01)
Observaciones	128	128	128	128	128
R-cuadrado	0.394	0.396	0.402	0.395	0.397

Nota: Errores estándar robustos entre paréntesis. Variables significativas al 1% \*\*\*, al 5% \*\*, al 10% \*.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos MINEDUC y MINSAL.

