




Universidad de Concepción
Escuela de Ciencias y Tecnologías
Ingeniería Comercial



**Efectos contemporáneos y rezagados de la
contaminación por material particulado, en el
rendimiento académico de alumnos de la región del
BIO-BIO**

Camilo Andrés Morales Salgado
LOS ÁNGELES-CHILE
12 de Enero de 2018

Profesor Guía: Moisés Carrasco G.
Escuela de Ciencias y Tecnologías
Universidad de Concepción

“A mis padres y abuelos



Índice general

	Pna
Tabla de Contenidos	III
Lista de Tablas	IV
Chapter	
1. Introducción	1
2. Motivación y Revisión Bibliográfica	2
2.1. Justificación	2
2.2. Efectos de la contaminación del aire	3
2.3. Efectos en el rendimiento escolar	4
3. Metodología	6
3.1. Modelo Econométrico	7
4. Resultados	9
4.1. Efectos diferenciados por grado	10
4.2. Efectos no lineales del MP10	11
5. Conclusiones	13
Referencias	15
Appendix	
A. Tablas	17



Lista de Tablas

1.	Disponibilidad de información	17
2.	Tamaño de la muestra por curso y año	17
3.	Estadística descriptiva de la concentración de contaminante	18
4.	Puntajes promedio SIMCE de lectura	19
5.	Puntajes promedio SIMCE de matemática	20
6.	Puntajes promedio SIMCE de ciencias naturales y sociales	21
7.	Correlación entre contaminantes	21
8.	Efecto contemporáneo y con rezagos de PM10 en el puntaje de matemáticas	22
9.	Efecto contemporáneo y con rezagos de PM2,5 en el puntaje de matemáticas	23
10.	Efecto contemporáneo y con rezagos de PM10 en el puntaje de lectura	24
11.	Efecto contemporáneo y con rezagos de PM2,5 en el puntaje de lectura	25
12.	Efecto contemporáneo y con rezagos de PM10 en el puntaje de ciencias naturales	26
13.	Efecto contemporáneo y con rezagos de PM2,5 en el puntaje de ciencias naturales	27
14.	Efecto contemporáneo y con rezago de MP10 en puntaje de matemática, por grado	28
15.	Efecto contemporáneo y con rezago de MP2,5 en puntaje de matemática, por grado	29
16.	Efecto contemporáneo y con rezago de MP10 en puntaje de lectura, por grado	30
17.	Efecto contemporáneo y con rezago de MP2,5 en puntaje de lectura, por grado	31
18.	Efecto no lineal de MP10 en puntajes SIMCE	32
19.	Efecto no lineal de MP2,5 en puntajes SIMCE	33

Capítulo 1

Introducción

Un problema recurrente de las ciudades de la zona centro sur de Chile, es la contaminación atmosférica en el periodo de otoño e invierno, esto sin duda afecta la salud y el diario quehacer de sus habitantes.

La estacionalidad mostrada por los niveles de contaminación en el aire son un factor antropogénico, producto del uso masivo de leña para combustión residencial. De acuerdo a estimaciones realizadas por (Comisión Nacional de Energía (CNE) (2008)), el consumo de leña representa entre el 17% y 20% del consumo de energía primaria de la matriz energética nacional, ubicándose en el tercer lugar de importancia en la matriz energética, antecedido por el petróleo y el gas. Además, la relación entre el elevado nivel de contaminación y el uso de leña es atribuible a la informalidad del mercado de la leña y por consecuencia, la calidad de la misma (Díaz *et al.* (2013)).

Los problemas de salud atribuibles a la contaminación del aire pueden manifestarse de forma aguda o crónica, como náusea, dificultad de respiración, problemas serios en el desarrollo de los niños, y actividad reducida del sistema inmunológico, llevando a una serie de enfermedades (Kampa & Castanas (2008)).

Producto de esta problemática, en Chile se estima que un 12% de las muertes son atribuibles a ambientes contaminados, según la segunda edición del informe “Ambientes saludables y prevención de enfermedades: Hacia una estimación de la carga de morbilidad atribuible al medio ambiente” (Prüss-Üstün & Corvalán (2006)).

Además de los problemas directos en la salud que produce la contaminación; esta puede producir asma y por lo tanto efectos de comportamiento y atención, como propone (Halterman *et al.* (2006)); o problemas de ausentismo en estudiantes como lo estudia (Currie *et al.* (2007)); además de efectos directos en el cerebro, los cuales provocan déficit cognitivo y anomalías cerebrales (Calderón-Garcidueñas *et al.* (2008)).

Todos estos efectos, eventualmente se pueden traducir en una disminución del rendimiento escolar de un estudiante, lo cual podría resultar en la acumulación de un reducido capital humano.

Con respecto a evidencia que relacione directamente el rendimiento escolar con la contaminación se pueden mencionar estudios como (Zweig *et al.* (2009), Lavy *et al.* (2012), Mohai *et al.* (2011), Miller & Vela (2013)) los cuales relacionan la contaminación del aire- ya sea midiendo material particulado o niveles de CO₂- con respecto al rendimiento académico, mostrando suficiente evidencia para aceptar que la calidad del aire afecta el rendimiento académico de forma negativa.

Capítulo 2

Motivación y Revisión Bibliográfica

2.1. Justificación

La cantidad de estudios en esta materia es muy variada y contempla efectos en la salud y las consecuencias que tienen estos en el rendimiento de estudiantes, todos estos estudios reflejan realidades específicas de las localidades donde se realizaron, y utilizan modelos de regresión que no contemplan la correlación espacial ni la heterogeneidad espacial, características que es muy probable que tengan las variables a estudiar, ya que los niveles de contaminación en efecto poseen interacción y estructura espacial.

En el estudio de Miller & Vela (2013) si se consideran las variables espaciales mediante la utilización del método de interpolación de kriging, para luego utilizar un modelo que determina la correlación temporal entre las variables interpoladas y el rendimiento académico, que en este caso es la prueba SIMCE.

En el presente estudio se propone añadir el efecto espacial de las variables en el modelo de la misma forma, además de ofrecer una visión local con respecto al tema de la contaminación, ya que estudios como el de Miller & Vela (2013) - aunque dan una visión del problema acá en Chile – solo contemplan las regiones de Valparaíso, Metropolitana y la de O'Higgins.

En la región del Bío-Bío, como se mencionó anteriormente, el problema de la contaminación en las temporadas frías es un factor importante en la calidad de vida de las personas, siendo la utilización de leña no certificada la principal causa. Por este motivo este estudio pretende encontrar evidencias de la relación del rendimiento SIMCE de los establecimientos educacionales de la región, con los niveles de contaminación aérea medidos por centrales de monitoreo. De esta forma contribuyendo a mejorar las políticas públicas con respecto a este problema, que aún en Chile y más específicamente en la región, se encuentra sin solución.

La zona geográfica donde se enmarcará la investigación es la región del Bío-Bío, en la cual existen 33 estaciones de monitoreo del aire, la mayoría ubicadas en Concepción. Nos concentraremos en los tres grandes polos de la región; Concepción, Chillán y Los Ángeles las cuales concentran la mayor parte de la población de la región.

Desde el punto de vista temporal, nos limitaremos a lo que está disponible por medio del Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA), que al menos en la región contempla datos tomados desde 2009 a la actualidad.

La variable referida al rendimiento escolar serán los puntajes SIMCE de cada establecimiento, enfocándonos en los puntajes de lenguaje, matemáticas y ciencias naturales.

2.2. Efectos de la contaminación del aire

La literatura es muy variada con respecto a los efectos de los contaminantes ambientales en salud, pero se estrecha cuando hablamos del efecto directo de la contaminación en el rendimiento académico. Según (Zweig *et al.* (2009)) hay cuatro mecanismos en el cual la contaminación puede afectar el rendimiento académico:

1. El ausentismo debido a enfermedades causadas por la contaminación.
2. Problemas atencionales debido a enfermedades causadas por la contaminación.
3. Fatiga al hacer tareas debido a enfermedades causadas por la contaminación.
4. Un efecto negativo directo de la contaminación en el desarrollo del cerebro.

En la literatura es posible encontrar evidencias para estos mecanismos, por ejemplo (Gilliland *et al.* (2001)) estudió el efecto de contaminantes como el O₃ NO₂ y MP₁₀ en el ausentismo debido a enfermedades respiratorias, (Ransom & Pope (1992)) hicieron el mismo análisis con los niveles de MP₁₀ y determinaron que los efectos de este podían durar hasta 4 meses, además (Currie *et al.* (2007)) también estudia el ausentismo en relación a monóxido de carbono (CO) y MP₁₀, todos estos estudios establecieron una relación estadísticamente significativa entre la contaminación y el ausentismo escolar, lo que valida el mecanismo N°1.

Cabe mencionar que ninguno de estos estudios considera el MP_{2,5}, esto debido a que son estudios ya con cierta antigüedad.

Para explicar el mecanismo N°2 existe evidencia de que los niños con asma tienden a tener más problemas de comportamiento que los niños que no tienen asma, por ejemplo (Butz *et al.* (1995)) concluyó que los niños con asma tienen el doble de probabilidades de tener problemas conductuales que los niños sin asma, (Bussing *et al.* (1995)) llega a resultados consistentes con los anteriores y (Halterman *et al.* (2006)) concluye lo mismo para niños pequeños con media de 5 años.

No tenemos evidencia empírica que demuestre el punto N°3, ya que es difícil cuantificar la fatiga, además de generar las condiciones para hacer un estudio de esas características.

Para validar el mecanismo N°4 existen estudios neuropatológicos, epidemiológicos, y literatura en imágenes cerebrales, las cuales sugieren que la contaminación puede ser dañina para el cerebro en desarrollo y puede afectar las habilidades cognitivas; (Calderón-Garcidueñas *et al.* (2008)) hace estudios en base a MRI

de perros y niños con diferentes exposiciones a la contaminación de la ciudad de México; (Suglia *et al.* (2008)) analiza la cognición a través de la implementación del test de inteligencia de Kaufman y la exposición de niños al hollín producto de mala combustión; (Wang *et al.* (2009)) compara dos colegios con diferentes exposiciones a la contaminación en base a test de comportamiento neuronal; todos estos estudios concluyeron que existe una relación negativa entre la contaminación del aire y las habilidades cognitivas de los niños.

De esta forma según la literatura, es bastante probable que la calidad del aire afecte ya sea; el comportamiento, el desarrollo cerebral y provoque ausentismo; lo que afecta directamente el rendimiento de los estudiantes y su desarrollo, lo que preocupa de sobremanera ya que con el tiempo se puede acumular la reducción del capital humano, lo que es nefasto para las economías del futuro.

2.3. Efectos en el rendimiento escolar

Con respecto a la reducción del capital humano, (Lavy *et al.* (2012)) hace un estudio en base a una muestra de miles de estudiantes de Israel – los cuales realizan un examen de ingreso a la educación superior – y los cruza con información meteorológica y de contaminación aérea. En base a los resultados postula que la exposición a contaminantes disminuye drásticamente la probabilidad que tienen los estudiantes de aprobar el examen, además a largo plazo esto puede terminar en una mala localización de trabajadores, y posiblemente en una fuerza de trabajo menos productiva.

Otro estudio relacionado es (Mohai *et al.* (2011)) en donde también se utiliza información de un examen estandarizado, esta vez a niños de 9° año en la ciudad de Michigan, estos datos son cruzados con las concentraciones de contaminantes de fuentes industriales a uno, dos y tres kilómetros de distancia desde sus respectivos colegios. Además, para extrapolar la información de los contaminantes, utilizaron una estimación de la “Environmental Protection Agency” la cual se basa en información detallada de emisiones para estimar ponderaciones en cuadrículas de 1 km². Luego, la información de los colegios fue georreferenciada con Arcview y sobrepuesta en la información extrapolarada. Los resultados destacan una relación entre el ausentismo y la concentración de contaminantes.

En el caso de (Zweig *et al.* (2009)) el estudio fue realizado recolectando información de cada colegio, la contaminación en horas de estudio, información familiar e información de salud. Además de los resultados de un test estandarizado e información histórica de contaminación del aire. Los resultados muestran nuevamente una relación negativa del rendimiento académico y las concentraciones de contaminación del aire.

Un estudio de bastante interés es (Miller & Vela (2013)) ya que se asemeja a lo que hace (Mohai *et al.* (2011)) pero lo aplica en las inmediaciones de la región Metropolitana, y utiliza información de la prueba

SIMCE, además de utilizar otro método de interpolación de la información de contaminantes en el aire, en este caso un método geoestadístico llamado kriging, o regresión de proceso gaussiano. En este estudio se encontró una marcada relación negativa entre los niveles de MP10 y los puntajes del SIMCE.

Con respecto a la prueba SIMCE, según (Meckes & Carrasco (2010)) esta es muy comparable de un año a otro, e incluso puede ser comparable internacionalmente.



Capítulo 3

Metodología

Para obtener información desagregada por alumno, se solicitó las bases de datos SIMCE de la Agencia de Calidad de la Educación, las cuales comprenden los puntajes de matemáticas, lenguaje, ciencias naturales y ciencias sociales, desde el año 1998 hasta 2013. Adicionalmente a esta información, se incluye el rol del establecimiento, ruralidad del establecimiento, grupo socioeconómico y dependencia del mismo, RUT del alumno, número de alumnos que rinden la evaluación, e información relevante de los profesores, apoderados y alumnos. Esta última se infiere de los resultados de encuestas realizadas durante el proceso SIMCE.

Para completar la información personal del alumno, se recurrió a las bases de datos públicas del centro de estudios MINEDUC, donde se detalla información desagregada por alumno, como el porcentaje de asistencia, calidad de beneficiario SEP y promedio general.

La información de contaminantes se obtuvo del Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire o SINCA, el cual posee información diaria de las concentraciones de contaminantes por estación, de las cuales se registran 33 en la región del Biobío, pero efectivamente 26 presentan datos. La ubicación de las estaciones se detalla en la figura 1. De estos últimos la información no es constante y se diferencia entre MP10 y MP2,5. Además las estaciones con datos relevantes han variado desde 2009 hasta 2013, en el cuadro 1 se detallan el promedio de estaciones que presentan datos para cada contaminante y año de análisis.

La variable de contaminantes asociada a cada alumno de la muestra, fue construida interpolando la información de las torres de monitoreo. Conociendo la ubicación geográfica de los establecimientos y las estaciones, es posible obtener una estimación de la concentración de contaminante para cada establecimiento utilizando el método de kriging, el cual obtiene la estimación por medio de la suma ponderada:

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^N w_i z(x_i) \quad (3.1)$$

Donde $z(x_i)$ es el valor medido en la ubicación i , w_i es una ponderación desconocida para el valor medido en la ubicación i , x_0 es la ubicación de la predicción y N la cantidad de valores medidos.

Esta es la misma forma de ponderación realizada por el método de “inverse distance weighting” o IDW, con la diferencia que este último el factor de ponderación w_i es lineal y depende solo de la distancia entre los puntos, en cambio kriging depende de un modelo ajustado a los puntos medidos, la distancia a la

ubicación de la predicción y las relaciones espaciales entre los valores medidos alrededor de la ubicación de la predicción. Para ello calcula primeramente un semivariograma empírico, es decir, las semivarianzas entre los puntos medidos en función de la distancia:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2M(h)} \sum_{i=1}^{M(h)} (z(x_i) - z(x_i + h))^2 \quad (3.2)$$

Donde h es la distancia, $z(x_i)$ el valor observado en x_i y $M(h)$ el número de pares medidos. Kriging utiliza este semivariograma empírico para luego ajustarlo a un modelo utilizando GLS y determinar los estimadores que se utilizarán para la ponderación realizada en (1). Para efectos de esta investigación se utilizó un modelo exponencial, el cual se aplica cuando la autocorrelación espacial disminuye exponencialmente cuando aumenta la distancia. En este caso, la autocorrelación desaparece por completo solo a una distancia infinita.

Las interpolaciones fueron realizadas para los niveles de MP10 y MP2,5 promedio durante la realización de la evaluación SIMCE, además del promedio 7, 14 y 28 días anteriores a ésta. Cabe destacar que para evitar errores de estimación se limitó la muestra a los establecimientos que se encuentran a menos de 1 kilómetro de las estaciones. La estadística descriptiva de las variables contaminantes se detalla en el cuadro 3, donde se observa que los niveles promedio de la muestra no superan los 50 microgramos por metro cúbico, la cual es la norma internacional para el promedio anual, pero individualmente solo el 52,6% de la muestra cumple con la norma, donde hay establecimientos que llegan a tener un promedio anual de 80 microgramos por metro cuadrado.

Para medir el rendimiento académico, se utilizaron los puntajes SIMCE desde 2009 al 2013, los cuales presentan resultados para pruebas de matemática, lenguaje, ciencias sociales y ciencias naturales, en el caso de matemáticas y lenguaje son medidas todos los años por los alumnos de 4°Básico y año por medio para alumnos de 8°Básico. Además, con menor frecuencia rinden dichas pruebas los alumnos de 2°Básico y 2°Medio, el detalle de las evaluaciones por año y por curso se muestra en los cuadros 4, 5 y 6, para las pruebas de lectura, matemáticas y ciencias respectivamente. Debido al limitado alcance de tiempo que tiene la muestra no es posible observar una marcada evolución en los promedios.

3.1. Modelo Econométrico

La estrategia de estimación de este estudio se centra en estimar la relación contemporánea y con rezagos que tiene la concentración de contaminante en el rendimiento académico utilizando el siguiente modelo:

$$Rend_{at} = \alpha + \beta_1 POLL_{st} + \beta_2 E_s + \beta_3 P_a + \beta_4 F_a + \beta_5 A_a + \gamma_a + \tau_t + \kappa_s + \delta_s + \varepsilon_{at} \quad (3.3)$$

Donde $Rend_{at}$ es el rendimiento del alumno a en el tiempo t , $POLL_{st}$ el vector de contaminantes y sus rezagos para el establecimiento s en el tiempo t , E_s el vector de variables del establecimiento s ; como ruralidad, número de alumnos por curso, dependencia y grupo socioeconómico; P_a es el vector de variables del profesor del alumno a ; las cuales comprenden educación y expectativas con respecto a su curso; F_a es el vector de variables familiares del alumno a ; entre ellas se encuentran, educación de los padres e ingreso familiar; A_a es el vector de variables del alumno a ; como porcentaje de asistencia, promedio general y calidad de beneficiario SEP. Finalmente las dummies incluidas, γ_a , τ_t , κ_s y δ_s , capturan el efecto fijo por grado, año, comuna y dependencia respectivamente.

La inclusión de estas dummies ayudará a capturar los efectos no observables que tiene cada comuna, año, dependencia y grado. Para la correcta estimación del modelo descrito en (3) se asume que estos efectos no observables que dependen del tiempo, el establecimiento y su ubicación no influyan en los niveles de contaminación ni en los resultados SIMCE, por lo tanto es importante incluir los efectos fijos anteriormente descritos. La muestra se compone de un 49.47% de establecimientos municipales, un 46.92% de particulares subvencionados y 3.59% de particulares pagados, el resto es apenas un 0.02% que corresponden a corporaciones de administración delegada. En términos de años, el 32.08% de las observaciones corresponden al año 2013, 26.52% al 2012, 12.97% al 2011, 14.56% al 2010 y 13.87% al 2009. Con relación al grupo socioeconómico los establecimientos de la muestra son un 12.71% bajos, 39.60% medio bajos, 31.19% medios, 12.36% medio altos y 4.14% altos.

Los contaminantes utilizados para este estudio son el material particulado MP10 y MP2,5, ya que tienen mayor presencia de observaciones en la muestra, aun así, como se aprecia en el cuadro 1 son pocas las estaciones, especialmente en 2009 donde en ese año algunas estaciones apenas empezaban su funcionamiento. Todas las concentraciones de contaminantes están medidas en microgramos por metro cúbico y se consideran los valores al día de la prueba, el promedio 7, 14 y 28 días anteriores, las correlaciones entre los contaminantes y su promedio anual se detallan en el cuadro 7, todas ellas están correlacionadas al 1% de significancia.

Cabe destacar que en la región del Bío Bío el problema de contaminación complejo es en época de otoño- invierno debido al uso masivo de leña, en contraste la evaluación SIMCE se realiza a mediados de octubre, aun así, es posible observar en el cuadro 3 que en establecimientos el promedio anual supera el estándar de 50 microgramos por metro cúbico y para el MP2,5 los valores diarios llegan por sobre 500 microgramos por metro cúbico en algunos establecimientos, lo que dista mucho de la norma chilena que establece un límite de 63 microgramos por metro cúbico como medición diaria y 25 microgramos por metro cúbico para promedios anuales.

Capítulo 4

Resultados

Los resultados de esta investigación se detallan en los cuadros 8 al 13, donde se separa el análisis por prueba y por contaminante, además se detallan las dummies utilizadas y los métodos de estimación, en este caso un OLS simple con varianza robusta y un modelo GLS de efecto aleatorio que considera los datos agrupados por paneles, los cuales integran cada alumno y el año de rendición de la prueba.

Cabe mencionar que a las estimaciones se les aplicó un test de heterocedasticidad el cual arrojó presencia de este, por este motivo también se estimó el modelo por medio de GLS. Además, se aplicó un test de autocorrelación desarrollado por Wooldridge (2002, 282–283), el cual descarta la presencia de autocorrelación en el modelo, lo que da seguridad de la robustez de los estimadores del modelo GLS con efectos aleatorios.

En el cuadro 8 se puede apreciar que los dos modelos no son muy diferentes con respecto a las varianzas, pero los coeficientes varían, aunque no su nivel de significancia. Se puede ver que según el modelo el nivel de contaminante del día de la prueba no tiene efecto significativo sobre el puntaje de matemáticas, pero el rezago de 7 días presenta una leve significancia al 10% y un efecto negativo para ambos métodos de estimación. Un aumento en 10 microgramos por metro cúbico podría disminuir el puntaje de matemáticas en 1 punto, con un rezago de una semana.

El efecto del MP2,5 sobre el puntaje de matemáticas se puede apreciar en el cuadro 9 y muestra más efectos significativos, al día de la prueba el efecto es negativo y significativo al 1%, pero los rezagos alternan su signo, es posible observar que el alcance del MP2,5 tiene mayor implicancia en el tiempo, ya que tiene un efecto hasta de un mes en el pasado.

Para la prueba de lectura es posible ver la misma tendencia, pero con un efecto más inmediato, en el cuadro 10 se aprecia el efecto del MP10 y el efecto contemporáneo es significativo al 1% y negativo, al igual que en la prueba de matemáticas el rezago de una semana es significativo, aunque positivo. Para el efecto del MP2,5 en el cuadro 11 se puede apreciar que igualmente el efecto inmediato es significativo y negativo, pero el efecto rezagado de una semana no es significativo. Luego los rezagos para 14 y 28 días son significativos, lo que refuerza la hipótesis de que el efecto de MP2,5 tiene mayor permanencia en el tiempo.

Para la prueba de ciencias naturales en el cuadro 12 se detalla el efecto del MP10, a diferencia de las otras pruebas el efecto inmediato es significativo y en magnitud el coeficiente es mayor y negativo, un

aumento en 10 microgramos por metro cúbico podría disminuir el puntaje SIMCE en hasta 2 puntos con un efecto inmediato. Es posible apreciar que también el efecto a 14, 28 días y anual es significativo y más pronunciado, con un mayor efecto a los 14 y 28 días, aunque estos se compensan dada la diferencia de signo.

En el cuadro 13 se detalla el efecto del MP2,5 en el puntaje de ciencias naturales, es posible ver que el contaminante y sus rezagos son levemente significativos, para el modelo estimado por OLS, el efecto inmediato es significativo al 10 % y es negativo, pero en el modelo estimado por GLS indica que el efecto significativo es a los 28 días y es en magnitud menor, pero positivo. Dada la diferencia entre las estimaciones se puede intuir que la presencia de heterocedasticidad para esta estimación con OLS es mayor a las estimaciones anteriores.

El análisis para la prueba de ciencias sociales no cumplió con el requisito de cantidad de observaciones para que GLS pudiera realizar una estimación, por lo tanto, se omitieron esos resultados.

4.1. Efectos diferenciados por grado

Posteriormente del cuadro 14 al 17 se detallan los efectos contemporáneos y con rezago de los contaminantes analizados, diferenciados por grado con el propósito de encontrar posibles diferencias entre el efecto del material particulado para los alumnos de diferentes edades. En el cuadro 14, para la prueba de matemáticas, se puede observar que nuevamente hay coeficientes positivos, pero alguno de los rezagos es negativo y significativo. Para los resultados del PM10 se aprecia que los alumnos de 4° Básico tienen efectos positivos el día de la prueba, pero a los 7 días el efecto es algo mayor y negativo, también se aprecia que el promedio anual tiene un efecto. Para los alumnos de 8° Básico se aprecia que igualmente la significancia se concentra en el efecto contemporáneo, pero existen efectos relevantes a los 14 y 28 días, en especial un efecto negativo a los 14 días. Para los resultados de 2° Medio, los efectos significantes se concentran en los rezagos de 14 y 28 días, además del promedio anual, en este caso el efecto negativo se encuentra a los 28 días de rezago. Con todo, se puede observar una tendencia en los efectos negativos y significativos para cada curso, mientras más jóvenes los alumnos, el efecto negativo que tiene el MP10 en los puntajes de matemáticas se manifiesta con mayor rapidez.

Los efectos del MP2,5 para esta prueba se pueden apreciar en el cuadro 15 y no son muy diferentes, se logra observar que para los alumnos de 4° Básico solo el efecto inmediato es significativo al 10 %, luego los alumnos de 8° Básico concentran un efecto negativo y significativo al 1 % a los 14 días, finalmente los alumnos de 2° Medio tienen un efecto que se concentra en el promedio a 28 días y el promedio anual, el cual tiene un efecto negativo y ambos significativos al 1 %. Se podría decir que independiente el nivel del material particulado (MP10 o MP2,5), el rendimiento matemático se ve afectado con un rezago diferente

dependiendo de la edad del alumno.

Los efectos del MP10 en la prueba de lenguaje se pueden ver en el cuadro 16, estos no presentan una clara tendencia por curso. Para los alumnos de 4° Básico el efecto contemporáneo es significativo, así como el rezago a 28 días el cual es negativo y significativo al 10%, además el efecto del promedio anual es significativo al 1%, aunque este es positivo. Para los alumnos de 8° Básico no hay ningún efecto significativo y para los de 2° Medio el efecto significativo se concentra a los 14 y 28 días.

Para continuar con el efecto del MP2,5 en la prueba de lenguaje, observamos el cuadro 17 donde los efectos son más amplios. Para los alumnos de 4° Básico los efectos significativos se encuentran en el efecto contemporáneo al 1% de significancia y a los 14 días con un 10%, para los alumnos de 8° Básico los efectos a 14 y 28 días son significativos al 10% y al 5% respectivamente. Para los alumnos de 2° Medio el efecto sobre el puntaje de lectura es más amplio y tiene un efecto elevado y significativo al 1% a los 7 días, además según indica la tabla el efecto del promedio anual es significativo al 10%.

Finalmente se puede decir que el efecto del nivel de contaminante en la prueba de lenguaje es más amplio en términos de rezagos y no tiene una tendencia clara dependiendo del curso, a diferencia del efecto en la prueba de matemáticas, el cual claramente tiene diferentes rezagos dependiendo del curso.

4.2. Efectos no lineales del MP10

Para estudiar el efecto no lineal de los contaminantes incluidos en este estudio, consideramos la variable promedio anual al cuadrado en la regresión, los resultados de esta operación se detallan en los cuadros 18 y 19.

En el cuadro 18 vemos el efecto no lineal del contaminante MP10 para las pruebas de lenguaje, matemáticas y ciencias naturales, es posible notar que el efecto no lineal es significativo en los tres casos y para las pruebas de matemáticas y lenguaje el coeficiente de la variable cuadrática es negativo, lo que indica que los efectos marginales se hacen cada vez más negativos al aumentar en nivel de contaminante MP10. Para estas dos pruebas el coeficiente no cuadrático es positivo, pero los puntos de inflexión son bastante bajos, es decir, los puntos donde la concentración de contaminante comienza a generar un decrecimiento de los puntajes es bastante bajo, para las pruebas de lenguaje y matemáticas son 46,08 y 54,44 microgramos por metro cúbico respectivamente, lo que está dentro del promedio de la muestra, pero hay que considerar que hay establecimientos que presentan concentraciones bastante mayores, además de ser valores muy cercanos a los promedios anuales. Además, esto es consistente con la norma internacional, la cual indica que los niveles anuales no debieran exceder los 50 microgramos por metro cúbico.

El efecto no lineal en la prueba de ciencias naturales también es significativo, pero el coeficiente cuadrático es positivo, lo que indica una curva convexa, aun así, el coeficiente lineal es negativo y el punto de inflexión

es 45,88 microgramos por metro cúbico.

Los efectos no lineales del contaminante MP2,5 se detallan en el cuadro 19 y se aprecia que ningún coeficiente es significativo, lo que propone que para el nivel de contaminante MP2,5 no existen efectos no lineales, al menos cuadráticos.

Finalmente, con estos resultados es posible decir al menos para las pruebas de matemáticas y lenguaje, que los establecimientos más expuestos a niveles de contaminación sobre la norma tienen una cada vez mayor incidencia sobre los puntajes SIMCE, a diferencia de los establecimientos que no tienen mucha exposición a contaminantes, en los cuales la incidencia es prácticamente cero. Esto podría explicar las diferencias en coeficientes por curso mostradas en los cuadros 14 al 17, además de algunos coeficientes positivos, que estarían describiendo efectos en niveles bajos de concentración de material particulado.



Capítulo 5

Conclusiones

En el presente estudio se ha trabajado con una base de datos de panel, la cual ha sido testeada y se ha descartado la presencia de autocorrelación serial, no así la heterocedasticidad, la cual es lógica, considerando la naturaleza de los datos, para ello se utilizaron métodos asintóticos, los cuales corrigen el problema. Aun así, la comparación entre métodos de estimación comprueba que la heterogeneidad no es tan extensa, ya que los coeficientes no discrepan de gran manera, aunque los niveles de significancia si experimentan cambios. Debido a esto se puede comprobar la robustez de los estimadores analizados en este trabajo.

Se ha encontrado evidencia para la VIII región, de que los niveles de MP10 y MP2,5 tienen relevancia al explicar los puntajes SIMCE, y por consiguiente el rendimiento académico de los alumnos que rinden las pruebas de matemáticas, lenguaje y ciencias naturales. Además, se encontró evidencia de que la inclusión de rezagos en el modelo añade información a este, por consiguiente, los efectos de las concentraciones de contaminante tienen un efecto en el futuro rendimiento de los estudiantes. Estos efectos se ha mostrado que tienen un efecto en general negativo en el puntaje, con alternaciones de signo de un rezago a otro, pero el efecto global es en desmedro de los puntajes SIMCE.

Otro descubrimiento ha sido encontrar evidencia del efecto rezagado del MP10 en los resultados de matemáticas para diferentes cursos, encontrando que los alumnos de 4°Básico tienen una absorción más rápida de los efectos del contaminante que los de 8°Básico y estos igualmente en comparación a los alumnos de 2°Medio. Comparativamente para la prueba de lenguaje, si existen diferencias para los distintos cursos, pero no se pudo determinar un patrón claro que dependiera del grado o curso del estudiante.

Además, pudimos encontrar evidencia del efecto no lineal del MP10 en las pruebas de matemáticas y lenguaje, es decir, el efecto del contaminante es nulo para concentraciones menores a los 46,08 y 54,44 microgramos por metro cúbico para las pruebas de lenguaje y matemáticas respectivamente. Sobrepasando estos límites el efecto del material particulado MP10 comienza a ser cada vez más nocivo y eventualmente afecta el rendimiento académico. Esto es consistente con la norma internacional de calidad del aire para MP10, la cual marca el límite en 50 microgramos por metro cúbico. Análogamente no se encontró evidencia de la no linealidad del MP2,5.

Desde el punto de vista de las políticas públicas en la región, estos resultados muestran que el problema

de la contaminación además de tener relevancia en la salud pública, afecta el rendimiento de los estudiantes, y según nuestro estudio, alarmantemente los efectos no son inmediatos y pueden tener un rezago de un mes, hasta varios meses en algunos casos donde el promedio anual tiene un efecto significativo. Esto da mayores razones para que las normas sean cumplidas y se limite la expulsión de material particulado a la atmosfera, especialmente la regulación del uso de leña, el cual es un problema en invierno para la zona central de la región del Bío-Bío.

Los resultados de este trabajo son similares a estudios realizados anteriormente con respecto a esta temática, con la diferencia que la aplicación de los métodos se encuentra limitada para la VIII región, esto debido a la limitada disponibilidad de información desde el punto de vista de contaminantes, esto se muestra en el cuadro 1, donde se pueden ver las pocas estaciones con información en 2009, las que fueron aumentando, pero aun así la información que estas muestran no es continua. Igualmente, la ubicación de estas estaciones solo representa una limitada área de la región, lo que nos obligó a limitar la muestra a los establecimientos a no más de un kilómetro de distancia de las torres.

Esta limitación sin duda tiene efectos en la estimación de la contaminación interpolada, lo que estaría afectando la estimación de los parámetros utilizados para este estudio en la forma de un error de medición en la variable independiente, esto afectaría el insesgamiento de los estimadores. Para ello la literatura propone usar una variable instrumental como la información meteorológica, la cual gracias a información del viento y precipitaciones podrían limpiar el error de medición de la variable de contaminante. Esto es materia de un análisis más profundo que necesitará de más trabajo en el futuro.

Referencias

- Bussing, R., N., H., Benjamin, B., & Wells, K. (1995). *Archives of Pediatric Adolescent Medicine*, **149**, 565–572.
- Butz, A., F.J., M., Eggleston, P., Thompson, L., Huss, K., Kolodner, K., & Rand, C. (1995). *Clinical Pediatrics*, **34**, 581–590.
- Calderón-Garcidueñas, L., Mora-Tiscareño, A., & Ontiveros, E. (2008). *Brain Cognition*, **68**, 117–127.
- Comisión Nacional de Energía (CNE) (2008). Technical report Ministerio de Energía.
- Currie, J., Hanushek, E., Kahn, M., Neidell, M., & Rivkin, S. (2007). *National Bureau of Economic Research*, **24**, 25–40.
- Díaz, L., Carimán, E., & Moncada, J. (2013). Technical report Universidad Católica de Temuco.
- Gilliland, F., Berhane, K., Rappaport, E., Thomas, D., Avol, E., Gauderman, J., London, S., Margolis, H., Islam, K., & Peters, J. (2001). *Epidemiology*, **12**, 43–54.
- Halterman, J., Conn, K., Forbes-Jones, E., Fagnano, M., Hightower, A., & Szilagyi, P. (2006). *Pediatrics*, **117**, 192–199.
- Kampa, M. & Castanas, E. (2008). *Environmental Pollution*, **151**, 362–367.
- Lavy, V., Ebensteion, A., & Roth, S. (2012). Technical report National Bureau of Economic Research.
- Meckes, L. & Carrasco, R. (2010). *Assessment in Education: Principles, Policy and Practice*, **17(2)**, 233–248.
- Miller, S. J. & Vela, M. A. (2013). Technical report Inter-American Development Bank.
- Mohai, P., Kweon, B., Lee, S., & Ard, K. (2011). *Health Affairs*, **5**, 852–862.
- Prüss-Üstün, A. & Corvalán, C. F. (2006). Technical report World Health Organization.
- Ransom, M. & Pope, C. (1992). *Environmental Research*, **58**, 204–219.
- Suglia, S., Gryparis, A., Wright, R., Schwartz, J., & Wright, R. (2008). *American Journal of Epidemiology*, **167**, 280–286.

Wang, S., Zhang, J., Zeng, X., Zeng, Y., Wang, S., & Chen, S. (2009). *Environmental Health Perspectives*, **117**, 1612–1618.

Zweig, J., Ham, J., & Avol, E. (2009). Technical report National Institute of Environmental Health Sciences.



Apéndice A

Tablas

Cuadro 1: Disponibilidad de información

Año	Contaminante	Número promedio de estaciones
2009	MP10	3.00
2009	MP25	5.38
2010	MP10	9.58
2010	MP25	5.75
2011	MP10	10.00
2011	MP25	5.38
2012	MP10	17.94
2012	MP25	7.00
2013	MP10	16.25
2013	MP25	7.70

Cuadro 2: Tamaño de la muestra por curso y año

Grado que rinde evaluación SIMCE	2009	2010	2011	2012	2013	Total
2b				4,438	4,282	8,720
2m		5,716		5,173	5,013	15,902
3m				4,869		4,869
4b	4,740	4,689	4,496	4,470	4,441	22,836
6b					4,701	4,701
8b	5,175		4,774		4,490	14,439
Total	9,915	10,405	9,270	18,950	22,927	71,467

Fuente: Elaboración propia.

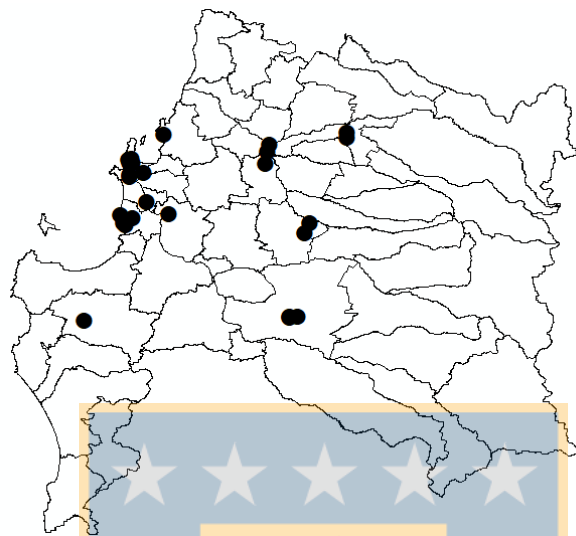


Figura 1: Ubicación de las torres de monitoreo

Cuadro 3:

Estadística descriptiva de la concentración de contaminante

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
mp10	71467	32.57	13.61	2.57	75.85
mp10 (7 dias)	71467	35.95	14.44	8.60	112.55
mp10 (14 dias)	71467	35.54	11.33	15.54	76.69
mp10 (28 dias)	71467	36.60	9.52	17.96	60.70
mp25	71467	24.25	47.28	0.05	518.16
mp25 (7 dias)	71467	23.23	37.64	0.74	387.45
mp25 (14 dias)	71467	27.61	42.19	0.74	387.64
mp25 (28 dias)	71467	29.31	37.82	0.74	294.33
mp10 anual	71467	48.49	12.08	18.83	80.88
mp25 anual	71467	37.86	28.66	1.25	199.84

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4: Puntajes promedio SIMCE de lectura

Año	Lectura 2b	Lectura 4b	Lectura 6b	Lectura 8b	Lectura 2m
2009		262.20 (53.38)		248.12 (49.77)	
2010		270.29 (50.20)			249.58 (48.90)
2011		270.04 (49.70)		255.94 (49.39)	
2012	251.16 (48.38)	270.26 (49.71)			246.71 (54.97)
2013	256.14 (48.00)	264.29 (50.24)	248.98 (48.88)	251.92 (51.78)	240.56 (55.82)

Desviación estándar en paréntesis


Cuadro 5: Puntajes promedio SIMCE de matemática

Año	Matemática 4b	Matemática 6b	Matemática 8b	Matemática 2m
2009	253.37 (54.75)		254.52 (49.08)	
2010	250.81 (53.27)			241.85 (58.23)
2011	263.76 (49.22)		259.08 (47.07)	
2012	266.16 (48.00)			250.81 (60.52)
2013	258.65 (51.52)	247.51 (48.61)	257.86 (48.26)	249.64 (63.71)

Desviación estándar en paréntesis

Cuadro 6: Puntajes promedio SIMCE de ciencias naturales y sociales

Año	C. Naturales 4b	C. Naturales 8b	C. Sociales 4b	C. Sociales 8b
2009	257.84 (49.34)	254.16 (50.89)		248.17 (50.38)
2010			254.19 (46.81)	
2011	264.47 (45.63)	264.41 (51.19)		259.96 (48.19)
2012			261.29 (46.86)	
2013	257.13 (43.37)	271.80 (47.91)		



Desviación estándar en paréntesis

Cuadro 7: Correlación entre contaminantes

	MP10	MP2,5	MP10 promedio anual	MP2,5 promedio anual
MP10	1.00			
MP2,5	(0.35)***	1.00		
MP10 promedio anual	(0.21)***	(0.14)***	1.00	
MP2,5 promedio anual	(-0.08)***	(0.24)***	(0.03)***	1.00

Los supra índices ***, **, * indican significancia estadística al 1, 5 y 10 por ciento, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 8:

Efecto contemporáneo y con rezagos de PM10 en el puntaje de matemáticas

	(1)	(2)
	OLS	GLS - RE
MP10 al día de la prueba	0.00433 (0.0218)	-0.000473 (0.0226)
MP10 promedio 7 días	-0.0894* (0.0434)	-0.105* (0.0408)
MP10 promedio 14 días	0.158 (0.0862)	0.105 (0.0798)
MP10 promedio 28 días	0.00828 (0.0583)	0.096 (0.0538)
MP10 promedio anual	0.0391 (0.0302)	0.00241 (0.0276)
R-squared	0.465	0.465
Observations	36806	36806
Dummy por grado	Si	Si
Dummy por año	Si	Si
Dummy por comuna	Si	Si
Dummy por dependencia	Si	Si

Los supra índices ***, **, * indican significancia estadística al 1, 5 y 10 por ciento, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 9:

Efecto contemporáneo y con rezagos de PM2,5 en el puntaje de matemáticas

	(1)	(2)
	OLS	GLS - RE
MP2,5 al día de la prueba	-0.0425** (0.0142)	-0.0475*** (0.0141)
MP2,5 promedio 7 días	0.0312* (0.0151)	0.0438** (0.015)
MP2,5 promedio 14 días	-0.0593*** (0.0152)	-0.0649*** (0.0143)
MP2,5 promedio 28 días	0.113*** (0.0233)	0.111*** (0.0221)
MP2,5 promedio anual	-0.00816 (0.0101)	-0.0036 (0.0106)
R-squared	0.465	0.465
Observations	36806	36806
Dummy por grado	Si	Si
Dummy por año	Si	Si
Dummy por comuna	Si	Si
Dummy por dependencia	Si	Si

Los supra índices ***, **, * indican significancia estadística al 1, 5 y 10 por ciento, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 10:

Efecto contemporáneo y con rezagos de PM10 en el puntaje de lectura

	(1)	(2)
	OLS	GLS - RE
MP10 al día de la prueba	-0.0815*** (0.0233)	-0.0843*** (0.0231)
MP10 promedio 7 días	0.182*** (0.0446)	0.173*** (0.0425)
MP10 promedio 14 días	-0.0905 (0.0879)	-0.104 (0.0833)
MP10 promedio 28 días	0.104 (0.059)	0.136* (0.0562)
MP10 promedio anual	-0.00544 (0.0313)	-0.0354 (0.029)
R-squared	0.402	0.402
Observations	36643	36643
Dummy por grado	Si	Si
Dummy por año	Si	Si
Dummy por comuna	Si	Si
Dummy por dependencia	Si	Si

Los supra índices ***, **, * indican significancia estadística al 1, 5 y 10 por ciento, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 11:

Efecto contemporáneo y con rezagos de PM2,5 en el puntaje de lectura

	(1)	(2)
	OLS	GLS - RE
MP2,5 al día de la prueba	-0.0450** (0.0146)	-0.0496*** (0.0145)
MP2,5 promedio 7 días	0.00931 (0.0151)	0.0175 (0.0155)
MP2,5 promedio 14 días	-0.0952*** (0.0156)	-0.105*** (0.0149)
MP2,5 promedio 28 días	0.176*** (0.0244)	0.181*** (0.023)
MP2,5 promedio anual	0.000185 (0.0106)	0.000812 (0.0109)
R-squared	0.402	0.401
Observations	36643	36643
Dummy por grado	Si	Si
Dummy por año	Si	Si
Dummy por comuna	Si	Si
Dummy por dependencia	Si	Si

Los supra índices ***, **, * indican significancia estadística al 1, 5 y 10 por ciento, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 12:

Efecto contemporáneo y con rezagos de PM10 en el puntaje de ciencias naturales

	(1)	(2)
	OLS	GLS - RE
MP10 al día de la prueba	-0.213*** (0.0347)	-0.196*** (0.0339)
MP10 promedio 7 días	0.178 (0.102)	0.0856 (0.0891)
MP10 promedio 14 días	-0.558** (0.209)	-0.396* (0.183)
MP10 promedio 28 días	0.403** (0.153)	0.358** (0.135)
MP10 promedio anual	0.124** (0.0418)	0.106** (0.0407)
R-squared	0.41	0.41
Observations	18349	18349
Dummy por grado	Si	Si
Dummy por año	Si	Si
Dummy por comuna	Si	Si
Dummy por dependencia	Si	Si

Los supra índices ***, **, * indican significancia estadística al 1, 5 y 10 por ciento, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 13:

Efecto contemporáneo y con rezagos de PM2,5 en el puntaje de ciencias naturales

	(1)	(2)
	OLS	GLS - RE
MP2,5 al día de la prueba	-0.0943* (0.0399)	-0.0744 (0.0455)
MP2,5 promedio 7 días	0.102 (0.0541)	0.0664 (0.0619)
MP2,5 promedio 14 días	0.0116 (0.0204)	-0.0318 (0.0182)
MP2,5 promedio 28 días	0.0218 (0.0333)	0.0717* (0.0297)
MP2,5 promedio anual	0.00105 (0.0186)	-0.00535 (0.0181)
R-squared	0.408	0.407
Observations	18349	18349
Dummy por grado	Si	Si
Dummy por año	Si	Si
Dummy por comuna	Si	Si
Dummy por dependencia	Si	Si

Los supra índices ***, **, * indican significancia estadística al 1, 5 y 10 por ciento, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 14:

Efecto contemporáneo y con rezago de MP10 en puntaje de matemática, por grado

	(1)	(2)	(3)
	Matemática 4B	Matemática 8B	Matemática 2M
MP10 al día de la prueba	0.336*** (0.0886)	0.169*** (0.0484)	0.0697 (0.133)
MP10 promedio 7 días	-0.395** (0.152)	0.343 (0.262)	-0.181 (0.12)
MP10 promedio 14 días	0.242 (0.228)	-1.265* (0.612)	1.146*** (0.241)
MP10 promedio 28 días	-0.102 (0.202)	0.892** (0.336)	-1.206*** (0.204)
MP10 promedio anual	0.248*** (0.0464)	0.0658 (0.061)	0.548*** (0.101)
R-squared	0.459	0.444	0.565
Observations	15538	9234	9116
Dummy por grado	Si	Si	Si
Dummy por año	Si	Si	Si
Dummy por comuna	Si	Si	Si
Dummy por dependencia	Si	Si	Si

Los supra índices ***, **, * indican significancia estadística al 1, 5 y 10 por ciento, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 15:

Efecto contemporáneo y con rezago de MP2,5 en puntaje de matemática, por grado

	(1)	(2)	(3)
	Matemática 4B	Matemática 8B	Matemática 2M
MP2,5 al día de la prueba	0.121* (0.0476)	-0.0782 (0.0563)	-0.119 (0.22)
MP2,5 promedio 7 días	-0.0152 (0.0186)	0.270** (0.0952)	-0.209 (0.206)
MP2,5 promedio 14 días	0.0473 (0.0265)	-0.426*** (0.113)	0.116 (0.187)
MP2,5 promedio 28 días	-0.0385 (0.0431)	0.173* (0.0801)	0.245*** (0.0477)
MP2,5 promedio anual	0.021 (0.0169)	-0.0398 (0.0242)	-0.108*** (0.0219)
R-squared	0.458	0.443	0.564
Observations	15538	9234	9116
Dummy por grado	Si	Si	Si
Dummy por año	Si	Si	Si
Dummy por comuna	Si	Si	Si
Dummy por dependencia	Si	Si	Si

Los supra índices ***, **, * indican significancia estadística al 1, 5 y 10 por ciento, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 16:

Efecto contemporáneo y con rezago de MP10 en puntaje de lectura, por grado

	(1)	(2)	(3)
	Lectura 4B	Lectura 8B	Lectura 2M
MP10 al día de la prueba	0.310** (0.0951)	-0.0375 (0.0566)	0.127 (0.133)
MP10 promedio 7 días	0.237 (0.159)	0.589 (0.32)	-0.225 (0.119)
MP10 promedio 14 días	0.0437 (0.236)	-0.758 (0.745)	1.033*** (0.239)
MP10 promedio 28 días	-0.480* (0.211)	0.632 (0.401)	-0.390* (0.198)
MP10 promedio anual	0.181*** (0.0472)	0.0889 (0.0694)	0.0873 (0.104)
R-squared	0.408	0.372	0.437
Observations	15456	9156	9119
Dummy por grado	Si	Si	Si
Dummy por año	Si	Si	Si
Dummy por comuna	Si	Si	Si
Dummy por dependencia	Si	Si	Si

Los supra índices ***, **, * indican significancia estadística al 1, 5 y 10 por ciento, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 17:

Efecto contemporáneo y con rezago de MP2,5 en puntaje de lectura, por grado

	(1)	(2)	(3)
	Lectura 4B	Lectura 8B	Lectura 2M
MP2,5 al día de la prueba	0.195*** (0.0479)	-0.0766 (0.0667)	0.489* (0.217)
MP2,5 promedio 7 días	-0.0143 (0.019)	0.145 (0.109)	-0.721*** (0.202)
MP2,5 promedio 14 días	0.0602* (0.0274)	-0.278* (0.126)	-0.0338 (0.178)
MP2,5 promedio 28 días	-0.08 (0.0446)	0.227** (0.088)	0.381*** (0.0472)
MP2,5 promedio anual	0.0131 (0.018)	-0.0205 (0.027)	-0.0532* (0.0225)
R-squared	0.407	0.371	0.437
Observations	15456	9156	9119
Dummy por grado	Si	Si	Si
Dummy por año	Si	Si	Si
Dummy por comuna	Si	Si	Si
Dummy por dependencia	Si	Si	Si

Los supra índices ***, **, * indican significancia estadística al 1, 5 y 10 por ciento, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 18: Efecto no lineal de MP10 en puntajes SIMCE

	(1)	(2)	(3)
	Puntaje Matemática	Puntaje Lenguaje	Puntaje C. Naturales
MP10 promedio anual	0.282* (0.115)	0.212 (0.119)	-0.390* (0.194)
MP10 promedio anual cuadrado	-0.00259* (0.00103)	-0.00230* (0.00108)	0.00425** (0.00162)
R-squared	0.4646	0.4019	0.4101
Observations	36806	36643	18349
Dummy por grado	Si	Si	Si
Dummy por año	Si	Si	Si
Dummy por comuna	Si	Si	Si
Dummy por dependencia	Si	Si	Si

Los supra índices ***, **, * indican significancia estadística al 1, 5 y 10 por ciento, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 19: Efecto no lineal de MP2,5 en puntajes SIMCE

	(1)	(2)	(3)
	Puntaje Matemática	Puntaje Lenguaje	Puntaje C. Naturales
MP2,5 promedio anual	-0.0118 (0.0278)	-0.0357 (0.0287)	-0.081 (0.0436)
MP2,5 promedio anual cuadrado	0.0000459 (0.000144)	0.000205 (0.000148)	0.00048 (0.000252)
R-squared	0.4649	0.4014	0.4074
Observations	36806	36643	18349
Dummy por grado	Si	Si	Si
Dummy por año	Si	Si	Si
Dummy por comuna	Si	Si	Si
Dummy por dependencia	Si	Si	Si

Los supra índices ***, **, * indican significancia estadística al 1, 5 y 10 por ciento, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

Abstract

The purpose of this research is to quantify the contemporary and lagged effects of pollutants such as PM10 and PM2.5 on the standardized results of SIMCE test scores.

Multiple studies have shown that higher concentration of pollutants can affect the children's learning process by triggering respiratory illnesses, fatigue, absenteeism and attention problems. This issue has not yet been studied in the VIII región, and this research tests such hypothesis.

It examines results from nearly 70000 students in fourth, eighth and tenth grades between 2009 and 2013, and for reading, math and science test scores. Data for particulate matter (PM10 and PM2.5), were interpolated at school level using a kriging methodology.

Results show that 52,6% of schools on the sample are below the international standard for annual PM10 levels. Also, there is evidence of non linearity in the annual PM10 effects on the math and reading scores, which point to a negative effect starting at 50 micrograms per cubic meter.

In addition, results show a differentiated effect between fourth, eighth and tenth graders, each with different lagged negative effects.

The recommendation is to improve the data availability from the monitoring stations, in order to improve future research. Also, to reduce the annual pollution to levels below 50 micrograms per cubic meter, where the effect of PM10 does not reduce test scores.