



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS
ESCUELA DE NEGOCIOS Y ECONOMÍA

**EFFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE SOBRE EL
RENDIMIENTO ESCOLAR EN ESTUDIANTES DE CUARTO BÁSICO
EN SANTIAGO DE CHILE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO
DE INGENIERO COMERCIAL

VANESSA PEÑA BRITO

Valparaíso, 2018

Agradecimientos

En estas breves líneas, quiero agradecer a todas las personas que se involucraron a lo largo de este trabajo de investigación con consejos, reflexiones e inspiración. A la universidad por permitir mi crecimiento y desarrollo profesional, y especialmente a Jorge Rojas por su motivación, orientación y apoyo a lo largo de la memoria.

A mis padres, Sandra y Washington por siempre apoyar con cariño y sabiduría cada paso en mi vida y educación. A Carolina, por las risas y las experiencias compartidas, y a Cristian por la paciencia y amor en cada momento. Finalmente, agradezco a mis compañeros y amigos por el tiempo juntos y los aprendizajes grupales.

Índice

1.	Resumen Ejecutivo-----	5
2.	Introducción-----	6
2.1	Revisión de la literatura-----	8
3.	Datos -----	10
3.1	Recolección de datos-----	12
3.1.1	Contaminación -----	12
3.1.2	Educación-----	13
3.2	Metodologías de imputación-----	14
3.3	Tratamiento de los datos-----	17
3.3.1	Contaminación -----	17
3.3.2	Educación-----	19
4.	Metodología Empírica -----	21
4.1	Especificación-----	24
4.2	Efectos Fijos-----	25
4.3	Errores-----	26
4.3.1	Errores estándares robustos -----	26
4.3.2	Errores estándares agrupados -----	27
4.4	Variable instrumental -----	28
5.	Resultados y discusión-----	28
5.1	Hechos estilizados -----	28
5.2	Test de las hipótesis -----	34
5.2.1	Hipótesis 1:-----	34
5.2.2	Hipótesis 2:-----	34
5.2.3	Resultados exploratorios -----	35
5.4	Análisis de datos de panel-----	37
5.4.1	Lenguaje -----	37
5.4.2	Matemáticas -----	42
6.	Conclusiones -----	47
6.1	Efectos estimados-----	47
6.2	Sugerencia de política pública-----	48
6.2.1	Impuestos a los contaminantes -----	48
6.2.2	Modificación de estándares de calidad del aire -----	49
6.2.3	Bonos verdes -----	51
7.	Referencias Bibliográficas -----	54
A.	Anexos -----	56
A.1.	Datos -----	56

A.2 Regresiones exploratorias	57
A.3 Regresiones de panel	59
A.4 Anexo código STATA	60

Índice de tablas

Tabla 2.1 Estándares de calidad del aire	7
Tabla 3.1 Fechas de recolección de datos de contaminación.....	17
Tabla 3.2 Asignaturas evaluadas en pruebas Simce por año	19
Tabla 3.3 Fechas de aplicación prueba Simce	20
Tabla 3.4 Matriz de correlación de variables demográficas	21
Tabla 5.1 Resultados regresión corte transversal para el año 2010	36
Tabla 5.2 Modelo 2. A	38
Tabla 5.3 Modelo 2. B.....	38
Tabla 5.4 Modelo 2. B.....	39
Tabla 5.5 Modelo 2. B.....	40
Tabla 5.6 Modelo 2. B.....	40
Tabla 5.7 Modelo 1. A	41
Tabla 5.8 Modelo 1. B.....	41
Tabla 5.9 Modelo 3.A	42
Tabla 5.10 Modelo 3.A	42
Tabla 5.11 Modelo 3.A	42
Tabla 5.12 Modelo 2.A	43
Tabla 5.13 Modelo 2.B.....	43
Tabla 5.14 Modelo 2.A	44
Tabla 5.15 Modelo 2.B.....	44
Tabla 5.16 Modelo 2.B.....	45
Tabla 5.17 Modelo 3.A	45
Tabla 5.18 Modelo 3.A	45
Tabla 5.19 Modelo 3.B.....	46
Tabla 6.1 Comparación de estándares de calidad del aire	50

Índice de figuras

Figura 2.1: Diagrama de endogeneidad	9
Figura 3.1: Diagrama de flujo de datos de contaminación.....	11
Figura 3.2: Diagrama de flujo de datos de educación.....	12
Figura 3.3: Representación distribución geográfica entre colegio/estaciones de monitoreo	16

Figura 4.1: Contaminación en semana de invierno.....	23
Figura 4.2: Contaminación de ozono en tres comunas.	24
Figura 4.3: Errores heteroscedásticos y homoscedásticos	27
Figura 5.1: Puntajes promedio anuales las pruebas de Lenguaje y Matemáticas.	29
Figura 5.2: Puntajes de Lenguaje y Matemáticas según tipo de establecimiento.	30
Figura 5.3: Nivel de contaminación de CO y puntajes de lenguaje.	31
Figura 5.4: Puntajes Simce y promedio de contaminación de MP ₁₀	32
Figura 5.5: Promedios de contaminación por comuna de MP ₁₀	33
Figura 5.6: Promedio diario MP ₁₀ en meses de junio, julio y agosto del 2010.	34
Figura 6.1: Mapa mundial de mercados locales de bonos verdes	52

1. Resumen Ejecutivo

El objetivo del estudio es identificar el efecto de la contaminación del aire en el rendimiento escolar de estudiantes de cuarto básico en la ciudad de Santiago de Chile. Conociendo los efectos se pueden sugerir políticas públicas para mitigar o compensar los mismos.

La contaminación es un problema serio que enfrenta esta ciudad, ubicada en un valle encerrado por cordones montañosos que dificultan la circulación fluida del aire, y como consecuencia la disolución de los contaminantes. Pese a que existe consenso científico sobre el impacto de la contaminación del aire sobre la salud humana, sus impactos sobre variables económicas como rendimiento académico, nivel de felicidad, entre otras, son menos claras. Por esto, en la última década se ha desarrollado mucha investigación de primer estimando efectos y consecuencias. Este estudio busca ser un aporte en esa dirección.

Se utilizan datos de contaminación de Santiago y los resultados de la prueba Simce, junto con información demográfica de cada estudiante. El estudio se desarrolla con una serie de modelos de regresión lineal. Se estima el efecto causal de la contaminación sobre el desempeño escolar aplicando los modelos de efectos fijos y variable instrumental. La evidencia sugiere que existe un efecto causal negativo de los contaminantes sobre el rendimiento de los cuartos básicos en la prueba Simce, especialmente con el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno.

La presente memoria tiene seis secciones, la primera es la introducción al tema, que plantea el problema de investigación y describe la literatura económica disponible sobre los efectos de la contaminación del aire sobre el rendimiento escolar. La segunda sección describe el proceso de selección, recolección y tratamiento de datos de contaminación y educación. Además, se explican las metodologías de imputación de contaminación espaciales y temporales. La sección 3 detalla la metodología empírica utilizada para formular un modelo de regresión que identifique el impacto de la contaminación en el puntaje Simce obtenido por un individuo. Se formulan distintos modelos que controlan por tipo de colegio, índice socioeconómico, efectos fijos de tiempo y colegio. La sección 4 discute y analiza los diferentes resultados, mientras que la sección 5 concluye y propone sugerencias de políticas públicas.

2. Introducción

Actualmente en Santiago existen una serie de regulaciones ambientales para disminuir los niveles de contaminación del aire, que año a año afectan a la población, principalmente, a través de afecciones respiratorias. Pese a que existen estudios epidemiológicos (Kampa & Castanas, 2008) que determinan los efectos de la contaminación del aire en la salud, aún no se cuantifican claramente sus impactos económicos y sociales, tanto de corto como de largo plazo.

La literatura médica indica que los niños son más vulnerables que los adultos a los efectos adversos de la contaminación atmosférica (Schwartz, 2008). En el ámbito educacional los estudios se han focalizado sobre la relación de la calidad del aire con el ausentismo escolar. Éstos determinaron que niveles altos de monóxido de carbono (CO) en el aire tienen un impacto estadísticamente significativo y negativo en la asistencia escolar (ver Currie, Hanushek, Khan, Neidell & Rivkin, 2009, y Ransom & Pope, 1992). Sin embargo, la información es limitada acerca del impacto de la contaminación en el rendimiento escolar, siendo Lavy, Ebenstein y Roth (2014) el único estudio cuantitativo disponible hasta el momento.

El objetivo del estudio es cuantificar el efecto causal de la contaminación del aire en el rendimiento escolar de los estudiantes en la ciudad de Santiago de Chile. La primera sección aborda las motivaciones para llevar a cabo la investigación, sustentada por la revisión bibliográfica acerca del tema.

La contaminación es un problema serio que enfrenta esta ciudad, ubicada en un valle encerrado por cordones montañosos que dificultan la circulación fluida del aire, y como consecuencia la dispersión de los contaminantes. Lo anterior sumado a los altos niveles de desarrollo industrial, las emisiones del parque automotriz y el uso de leña para calefacción contribuyen a altos niveles de contaminación que con frecuencia exceden los estándares sugeridos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), los estándares de la Agencia de la Protección del Medioambiente en Estados Unidos y también los estándares medioambientales nacionales.

La tabla 2.1 presenta los estándares de calidad de aire nacionales y de Estados Unidos para diferentes contaminantes y diferentes períodos de tiempo.

Tabla 2.1*Estándares de calidad del aire*

Contaminante	Estándar Chileno		Estándar de EE. UU..	
PM ₁₀ (µg/m ³)	150 (24h)	50 (anual)	150 (24h)	
PM _{2.5} (µg/m ³)	35 (24h)	12 (anual)	35 (24h)	12 (anual)
O ₃ (ppb)	75 (8h)	120 (1h) *	70 (8h)	-
NO ₂ (ppb)	100 (1h)	53 (anual)	100 (1h)	53 (anual)
SO ₂ (ppb)	75 (1h)	140 (24h) **	750 (1h)	50 (24h)
CO (ppm)	9 (8h)	35 (1h)	9 (8h)	35 (1h)

Actualizado al 2014 según la regulación chilena. Decretos 12/2010, 59/1998, 113/2002, 115/2002.

Actualizado al 2017 según los Estándares Ambientales Nacionales de la Calidad del Aire (NAAQS).

*: Este estándar de 1971 fue revocado en 1997 porque no proporcionaría protección adicional a la salud pública. **: Este estándar de 1971 fue revocado en 2010 porque no proporcionaría protección adicional a la salud pública dado el estándar de 75 ppb de 1 hora.

De acuerdo con la OMS en 2014, el 92% de la población vivía en lugares donde no se respetaban las directrices de la organización sobre la calidad del aire. En el 2017 se determinó que la contaminación era una mayor amenaza para la salud humana que la enfermedad de Ébola y VIH. Por lo que buscar la disminución de las emisiones de contaminantes requieren de una planificación institucional normativa que genere las políticas públicas necesarias. En muchas capitales del mundo se aplican actualmente medidas para mitigar la contaminación del aire, gracias a que existen incentivos alineados por parte de la población y las autoridades. Esto se debe a que la contaminación del aire se distribuye a lo largo de toda una ciudad, y por lo tanto afecta a sus habitantes de la misma forma. La diferencia con Santiago son las características geográficas que por la gravedad desplazan la contaminación de toda la ciudad hacia los sectores poniente y sur. Son justamente aquellos sectores los más pobres de la capital, por lo que la presión por disminuir la contaminación es menos visible.

Los efectos de la contaminación del aire sobre la salud han sido documentados por diversos estudios que identifican los mecanismos de acción de los contaminantes en la salud. Partículas menores a 10 micrómetros (MP₁₀) de diámetro pueden potencialmente aumentar el riesgo de enfermedades respiratorias y problemas cardiovasculares a largo plazo, incluso enfermedades crónicas como el asma o cáncer de pulmón. Las partículas finas (MP_{2.5}) son tan pequeñas que pueden llegar a los pulmones, causando serios problemas a largo plazo. También causa síntomas temporales como la irritación de ojos, nariz y garganta; tos, pecho apretado, palpitaciones o fatiga. El dióxido de nitrógeno (NO₂) puede irritar los pulmones y disminuir la resistencia a infecciones respiratorias. El monóxido de carbono (CO) es conocido por reducir el nivel de oxígeno en la sangre y en altas concentraciones está asociado con el deterioro de la vista,

capacidad reducida para trabajar, disminución de habilidades cognitivas y dificultad en realizar tareas complejas. La exposición al ozono (O₃) por 6 a 7 horas, incluso en bajas concentraciones, puede inducir síntomas como dolor en el pecho, tos, náuseas y congestión pulmonar. El metano (CH₄) en altas concentraciones debilita el sistema nervioso central. Finalmente, hay evidencia suficiente de que la exposición en el corto plazo al dióxido de sulfuro (SO₂) puede inducir broncoconstricción y el aumento de los síntomas del asma, especialmente entre niños y ancianos.

Estos efectos perjudiciales para la salud afectan diariamente a millones de personas, en especial a la población escolar. La exposición reiterada a dichos contaminantes, por lo tanto, puede derivar en la reducción de su rendimiento escolar y aprendizaje.

2.1 Revisión de la literatura

Existen tres líneas de investigación asociadas al estudio. El primer acercamiento al tema se desarrolló en la literatura médica, identificando las consecuencias sobre la salud de la calidad del aire. Luego, en la segunda línea de investigación se abordan los efectos educacionales de la contaminación del aire. La tercera línea de investigación plantea y explora la relación de la calidad del medioambiente con el nivel de ingresos.

La primera línea de investigación es la literatura que describe los efectos negativos de la contaminación del aire sobre la salud. Kampa y Castanas (2008) abordan los efectos de diferentes contaminantes en la salud humana, y sus mecanismos de transmisión. Alexis et al. (2004) lista los estudios que asocian la exposición a SO₂, NO₂, CO con problemas respiratorios y cardiovasculares. Brunekreef y Holgate (2002) analizan los efectos a corto y largo plazo del material particulado y el ozono sobre la salud. Mendell y Heath (2005) hacen una revisión crítica de la evidencia científica que relaciona las condiciones de contaminación y térmicas con un peor desempeño y asistencia en ambientes de interior. Por otro lado, Bharadwaj, Gibson, Zivin y Neilson (2014) realizan en Santiago un estudio que examina el impacto negativo de la exposición fetal a la contaminación del aire.

La segunda línea relevante en la literatura es la que estudia la relación entre la contaminación del aire y el aprendizaje escolar. Currie et al. (2009) obtienen evidencia de un patrón decreciente entre los niveles de CO y la asistencia a la escuela. Mohai, Kweon, Lee y Ard (2011) demuestran que las escuelas de Michigan situadas en sectores contaminados tienen los menores niveles de asistencia y las mayores proporciones de estudiantes que fallan en las pruebas estandarizadas. Ransom y Pope (1992) demuestran que un aumento de 100µg/m³ de MP₁₀ en un promedio móvil de 28 días,

se traduce en un aumento del ausentismo escolar en una tasa de dos puntos porcentuales. En el modelo, los autores controlan por variables climáticas, tales como temperatura, nieve caída, y variables que indican el día de la semana, mes del año escolar y los días que preceden a los feriados y fines de semana extendidos.

La tercera línea de investigación relevante para el estudio es la literatura que analiza la relación entre la contaminación en distintas áreas geográficas y los niveles de ingreso promedio. Pastor, Morello-Frosch y Sadd (2006) determinan que estudiantes más pobres están expuestos a mayores niveles de contaminación que aquellos de altos ingresos. Chay y Greenstone (2005) analizan el impacto de la contaminación en el precio de las viviendas. Un estudio similar realizado por Levinson (2012) usa datos de contaminación y felicidad percibida para estimar la disposición a pagar por aire menos contaminado.

De acuerdo con lo anterior, el presente estudio debe abordar el problema de endogeneidad, que se presenta de dos maneras. La primera es la simultaneidad, observada en la relación entre el rendimiento escolar y la contaminación del aire. Considerando que estas variables son la variable dependiente y (rendimiento escolar) e independiente x (contaminación del aire), la simultaneidad significa que ambas variables son causa de la otra, por lo que la relación entre ellas es bidireccional.

La segunda forma de endogeneidad se presenta mediante efectos confusos, donde podrían existir variables no observadas que estén afectando el rendimiento escolar. Esta última forma de endogeneidad se puede graficar de la siguiente forma, donde se representa la relación entre el rendimiento escolar (y), y la contaminación del aire (x). Cuando el término de error ε está relacionado con x , se habla de x como una variable endógena, afectando directamente sobre y , ya que existen variables no observadas que están influyendo sobre el rendimiento escolar.

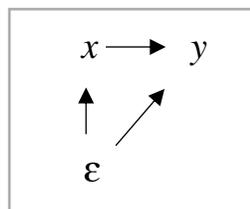


Figura 2.1: Diagrama de endogeneidad

Para la ciudad de Santiago, Gramsch, Cereceda-Balic, Oyola y von Baer (2006) demuestran que la concentración de contaminantes está determinada por características topográficas y meteorológicas únicas de la ciudad. Esto significa que la contaminación del aire es redistribuida a través de corrientes y se concentran en áreas geográficas específicas durante el día. Esto implica que incluso si barrios más pobres generan poca contaminación, dado que la mayoría de ellos están situados en estas regiones

topográficas que atraen la contaminación, ellos sufrirán aún más el impacto negativo de la contaminación generada por el resto de la ciudad. Alternativamente, Mena-Carrasco et al. (2012) estiman los beneficios para la salud del uso de gas natural en el transporte y calefacción de la ciudad de Santiago.

Lavy et al. (2014) presenta una investigación que es similar al presente estudio en la modelación del problema, incluyendo efectos fijos. Los autores determinan que la contaminación del aire tiene un efecto negativo en pruebas estandarizadas en Israel. La investigación en curso contribuye a adicionar un nuevo caso de estudio y desagrega los efectos por asignaturas, es decir, en matemáticas, ciencias y lenguaje. Además, el estudio resuelve el problema de endogeneidad al elaborar un modelo que utiliza como instrumento la humedad relativa como variable exógena que afecta los niveles de contaminación.

En la Sección 2 de datos, se describe la fuente y el tipo de información con la que se cuenta. También, se presentan las variables generadas y el tratamiento de datos previo al análisis empírico. Luego, se aborda la metodología empírica, que describe la forma en que son analizados los datos y las herramientas econométricas involucradas en el estudio. Además, se plantea la herramienta de variable instrumental para abordar el problema de endogeneidad. En la sección de discusión de resultados se presentan los principales hallazgos y los respectivos chequeos de robusticidad y significancia estadística. Finalmente, se concluye con la discusión sobre los efectos estimados del estudio y una recomendación de política pública de acuerdo con los resultados obtenidos.

3. Datos

En esta sección se describen las formas de recolección y tratamiento de los datos. Los datos de contaminación y educación son tan diferentes como las técnicas que se aplicarán para preparar las bases de datos.

Para determinar el efecto causal de la contaminación del aire sobre el desempeño se requiere que ambos tipos de datos estén en el formato de datos de panel, combinando una dimensión temporal (años 2002 y 2005-2013) con una transversal (contaminación y puntajes de Simce, por colegio y estudiantes, respectivamente).

El proceso por el que pasan los datos desde la base de datos original hasta la base de datos de panel se representa en las Figuras 3.1 y 3.2, de contaminación y educación, respectivamente. Los rectángulos en las figuras representan los procesos por lo que pasan los datos para obtener una base de datos de panel consolidada,

mientras que los rombos representan distintas bases de datos que van desde los datos originales a los datos listos para ser utilizados en las estimaciones.

Los diagramas a continuación muestran esquemáticamente los procedimientos utilizados. No obstante, estos son explicados en detalle en la sección 3.2 de este documento.

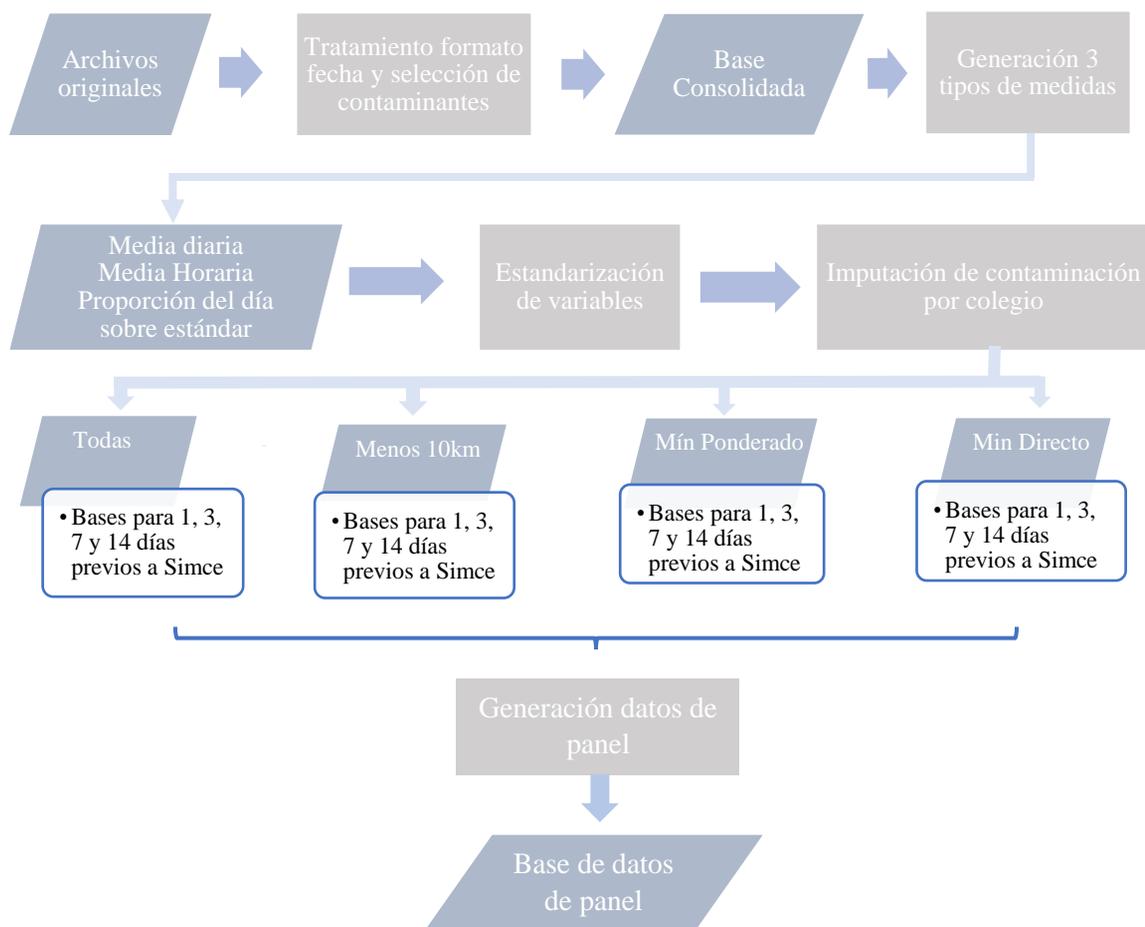


Figura 3.1: Diagrama de flujo de datos de contaminación

Es importante mencionar que si bien la recolección de datos es una actividad relativamente sencilla, esta requiere una gran cantidad de tiempo pues los datos usualmente no están sistematizados en las reparticiones públicas que las proveen. Esto es particularmente preocupante respecto de los datos de contaminación que requirieron una gran cantidad de trabajo y depuración para dejarlos en un formato aceptable para su utilización. Se tuvo que formatear desde la fecha de los datos hasta los valores que a veces estaban en formato string, otras veces en formato numérico, unas veces usando la coma como separador de miles, otras veces el punto. No obstante, se tuvo los cuidados respectivos para dejar las bases con la misma nomenclatura.

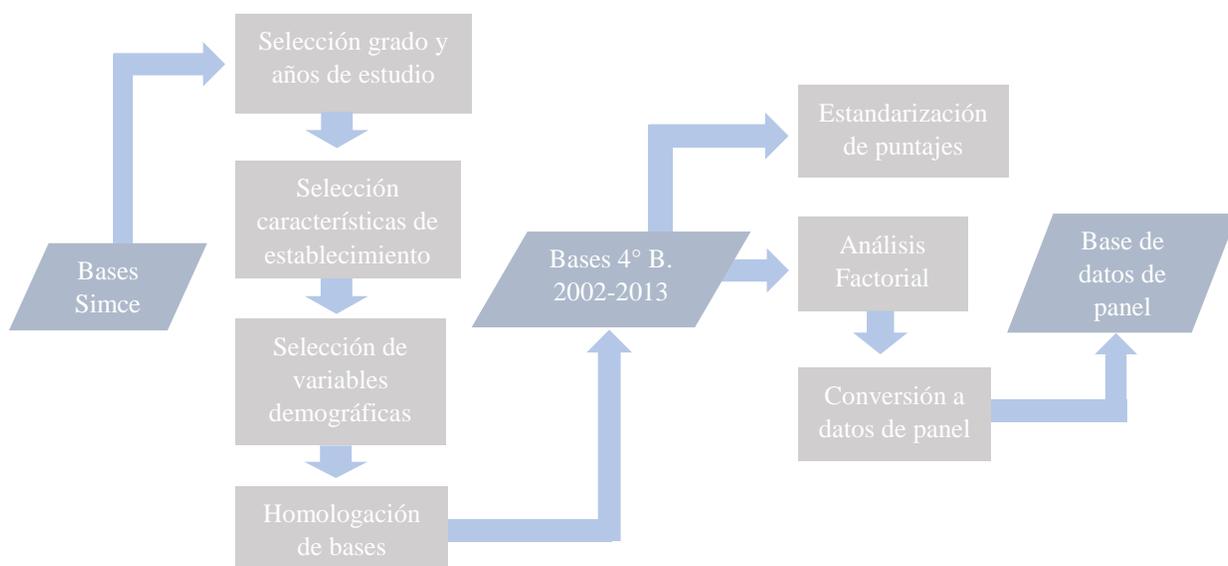


Figura 3.2: Diagrama de flujo de datos de educación

3.1 Recolección de datos

A continuación se explican las fuentes, tipos de datos y trabajo desarrollado con los mismos para su posterior uso en los análisis. Cabe señalar que no fue necesario pagar por ninguno de los datos utilizados en este proyecto. Los datos de contaminación del aire están disponibles a través de una página web pública, mientras que los datos de educación pueden ser solicitadas completando un formulario online y respetando ciertas cláusulas de confidencialidad.

3.1.1 Contaminación

Para determinar la relación entre la contaminación del aire y el desempeño escolar se recolectan datos de dos fuentes. La información sobre la contaminación y condiciones climáticas es obtenida del Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA) y la Dirección Meteorológica de Chile (METEOCHILE), respectivamente. La información es reportada en cada estación de monitoreo, tanto para cada contaminante, como para los parámetros meteorológicos. El foco del estudio se centra en el análisis del impacto de los contaminantes MP_{10} , $MP_{2.5}$, CO, NO_X , O_3 .¹

Las once estaciones de monitoreo de SINCA están situadas en distintas comunas de la ciudad, estas son Independencia, La Florida, Las Condes, Santiago Centro, Pudahuel, Cerrillos, El Bosque, Cerro Navia, Puente Alto, Quilicura y Talagante. Las estaciones de monitoreo de METEOCHILE están en Quinta Normal, Pudahuel y La Reina.

¹ Se descarta el análisis con la información recolectada de los contaminantes CH_4 , SO_2 , NO, NO_2 y HCNM, ya que existe una cantidad considerable de datos perdidos o no medidos.

Para la estimación del nivel de contaminación media por cada colegio, se reúnen las coordenadas geográficas para cada colegio, así como también de todas las estaciones de monitoreo. Luego, se estima la distancia entre cada colegio y estación de monitoreo. Para la imputación de contaminación para cada colegio, se usan tres metodologías distintas: la primera es medir el promedio ponderado por el inverso de la raíz cuadrada de la distancia; la segunda forma es usando el nivel de contaminación promedio de la estación de monitoreo más cercana. La tercera metodología considera sólo las estaciones de monitoreo que están en un rango de 10 kilómetros de cada colegio, calculando el nivel de contaminación por las distancias ponderadas.

Para estimar los niveles de contaminación promedio para cada colegio en Santiago, se reúnen las coordenadas geográficas de cada uno, y también las de cada estación de monitoreo. La georreferenciación de cada establecimiento educacional es proporcionada por el Ministerio de Educación, mientras que la localización de las estaciones de monitoreo es obtenida de SINCA. Para estimar la distancia entre cada colegio y cada estación de monitoreo se utiliza la fórmula estándar para medir distancias en la Tierra.

$$a = \sin(\Delta\Phi/2)^2 + \cos \Phi_1 \cdot \cos \Phi_2 \cdot \sin(\Delta\lambda/2)^2 \quad (3.1.1)$$

$$c = 2 \cdot \arctan(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}) \quad (3.1.2)$$

$$d = R \cdot c \quad (3.1.3)$$

Donde Φ es latitud, λ es longitud, 1 y 2 representan locaciones, Δ es el operador diferencia y R es el radio de la Tierra (radio medio es 6,371 km).

3.1.2 Educación

El desempeño escolar es medido a través de los resultados de las pruebas estandarizadas del Simce. Las bases de datos se solicitan a la Agencia de la Calidad de la Educación, que evalúa el proyecto presentado y luego envía una serie de documentos de acceso privado del año 2002 al 2013. Las bases de datos enviadas en formato dta para su uso en Stata no solo contienen los puntajes de los estudiantes en cada prueba, sino que también incluye información demográfica relevante para la estimación del modelo. Las bases de datos están agrupadas por estudiantes, establecimientos, comunas, departamentos provinciales, regiones, y cuestionario para padres, profesores y estudiantes.

Para el estudio se requieren las bases de datos de estudiantes, que contienen la información que los identifica con un id único, el identificador de su colegio (rbd)² y los puntajes obtenidos en cada prueba. También se utiliza la base de datos de establecimientos para agregar al modelo las variables de tipo de establecimiento (municipal, particular subvencionado o particular pagado) y la letra de curso de cada estudiante. Por último, se utiliza la base de datos con el cuestionario para padres, que contiene variables demográficas que se considerarán para la elaboración de un índice socioeconómico.

La cantidad de estudiantes de cuarto básico que se evalúan en el año 2002 y del año 2005 al 2013 es de 1.418.389,³ diferenciados por un identificador longitudinal a lo largo de los años. Asimismo, la muestra de colegios observados en las comunas señaladas de la Región Metropolitana a estudiar son 898. Según los datos recolectados el 29% de los estudiantes son de establecimientos municipales, el 61% son estudiantes de colegios particulares subvencionados y el 9% corresponde a estudiantes de colegios particulares pagados.

El año 2017 fue promulgada la Ley de Inclusión, que se sustenta en tres ejes principales. Se contempla la eliminación progresiva del copago de la mensualidad de los estudiantes en establecimientos que reciben aportes del Estado. Elimina el lucro en todos los colegios que reciban aportes estatales, reinvertiendo el total de las utilidades en la mejora de la calidad de los mismos. Los establecimientos privados sin fines de lucro mantendrán su proyecto educativo y autonomía. También se elimina el mecanismo de selección arbitraria, terminando con la discriminación con pruebas de ingreso, o entrevistas personales. El año 2016, 784 establecimientos dejaron de cobrar mensualidad, beneficiando a alrededor de 240.000 estudiantes. Estas medidas buscan mejorar las oportunidades educativas y de disminuir las desigualdades en el acceso a la educación. Se podría prever que la ley mejore el problema de segregación escolar. Los efectos de la ley no se observan en el actual estudio, ya que éste analiza datos del año 2002 y 2005 al 2013.

3.2 Metodologías de imputación

Para imputar el nivel de contaminación promedio para cada colegio, se utilizan cuatro metodologías. La primera de éstas asigna el nivel de contaminación del aire de la estación de monitoreo más cercana al colegio o liceo.

² Rol de base de datos del establecimiento.

³ Se selecciona el nivel de cuarto básico porque estudiantes podrían ser más susceptibles a efectos de la contaminación.

En la Figura 3.3, se presenta un diagrama que representa el ejemplo del colegio C_0 , donde S_1 , S_2 y S_3 son diferentes estaciones de monitoreo, a una distancia d_i , $\forall i = 1, 2, 3$. Por lo tanto, de acuerdo a la Figura 2.3, la imputación de contaminación para el colegio C_0 , sería la de la estación S_1 , considerando que $d_1 = \min \{d_1, d_2, d_3\}$.

La segunda forma de imputación también es calculada considerando la estación de monitoreo que se localiza más cerca del colegio C_0 , pero además pondera la distancia entre ambos. Esta metodología podría predecir con mayor exactitud la contaminación para cada colegio, ya que la distancia mínima podría ser 500 metros, 2 kilómetros o incluso 5. Por lo tanto, en la medida de que la distancia mínima sea menor, la imputación de contaminación se aproxima a los valores reales de contaminación del aire que experimenta cada establecimiento educacional.

La tercera metodología de imputación asigna el nivel de contaminación de todas las estaciones de monitoreo de Santiago, ponderadas según la distancia al colegio o liceo. La fórmula que calcula el nivel de contaminación promedio es la siguiente:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{\sqrt{d_i}} \times X_i, \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \quad (3.2.1)$$

X_i es el nivel de contaminante X en la estación i . Por lo tanto, de acuerdo con la Figura 2.3, se consideran las distancias y niveles de contaminación de las tres estaciones para determinar el nivel de polución del aire del colegio C_0 .

Finalmente, la última metodología de imputación considera sólo la información de las estaciones de monitoreo que están a 10 km. o menos del establecimiento educacional. Ésta estima el promedio ponderado por el inverso de la raíz cuadrada de la distancia del colegio a la estación de monitoreo. Entonces, según lo señalado, se introduce una variable dummy para descartar las estaciones que están a una distancia mayor a 10 Km, tal como indica la siguiente condición:

$$D_i = \begin{cases} 1 & \text{si } d_i \leq 10 \text{ Km} \\ 0 & \text{si } d_i > 10 \text{ Km} \end{cases} \quad (3.2.2)$$

Entonces, luego de cumplir con la condición de la variable dummy, se calcula el nivel de contaminación promedio de cada colegio mediante la siguiente fórmula:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{D_i}{\sqrt{d_i}} \times X_i \quad (3.2.3)$$

Suponiendo que las estaciones S_1 y S_3 de la Figura 3.3 están en el rango de distancia de 10 o menos kilómetros, ambas se considerarían para el cálculo de la primera metodología de imputación.

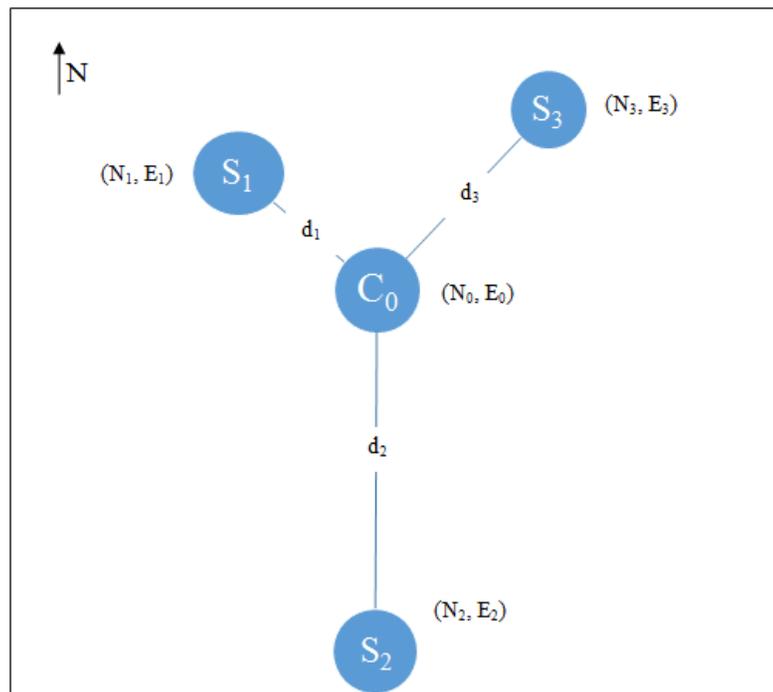


Figura 3.3: Representación distribución geográfica entre colegio y estaciones de monitoreo

Para la recolección de información sobre rendimiento escolar se utilizan los datos de la prueba estandarizada del Sistema de Medición de la Calidad de la Educación (SIMCE), que provee la Agencia de la Calidad. Ésta además aporta datos demográficos que se utilizan para la construcción de un índice de estatus socioeconómico. La participación de los establecimientos en el SIMCE es obligatoria, lo que permite una base de datos transversal a lo largo de Chile.⁴ Se realizan cada año pruebas de lenguaje, matemáticas y ciencias. Para efectos del análisis econométrico, se estandarizan los puntajes promedio de cada año a cero y la desviación estándar a 1. Se aplica la misma metodología a los datos de contaminación del aire.

⁴ El estudio se centra en la ciudad de Santiago por sus antecedentes históricos de contaminación, además sus características topográficas resultan ideales para el análisis intercomunal entre contaminación y rendimiento escolar.

3.3 Tratamiento de los datos

En esta subsección se describen los datos originales, las estaciones de monitoreo, colegios, y cómo se tratan los datos para crear los pseudo-paneles (cortes transversales repetidos) para efectuar el análisis.

3.3.1 Contaminación

La descarga de información desde la página web de SINCA permite la elaboración de una base de datos unificada con todos los contaminantes para el desarrollo del estudio. Esta contiene las mediciones por hora de contaminación reportada para cada estación de monitoreo y para distintos contaminantes. No todos los contaminantes son registrados en todas las estaciones (ver Tabla 3.1 y el anexo 1 para mayores detalles). No obstante, los contaminantes mayoritariamente medidos corresponden al PM10, PM2.5, CO, NO, NO2 y NOX. Estos contaminantes también son citados en otros estudios como se ha discutido previamente.

Para el estudio se utilizan los datos oficiales y preliminares, y se descartan los datos no validados provistos por SINCA, ya que tienden a ser valores anormales que aún están en proceso de verificación. Luego se separan los datos en 2 variables, la primera contiene los valores oficiales y la segunda se genera a partir de la fusión de los datos oficiales y preliminares. Esto significa que la variable presenta los datos oficiales, y en ausencia de ellos considera los datos preliminares para tener una mayor cobertura de datos efectos de análisis.

El tiempo de medición de los datos de contaminación varían según cada estación de monitoreo. Por ejemplo, en la estación de Pudahuel las mediciones se inician entre el año 1997 y 2000. Sin embargo, en otras estaciones como Puente Alto, Quilicura y Talagante las mediciones empiezan en los años 2008 y 2009. La Tabla 3.1 muestra las fechas de inicio y término de las mediciones para cada contaminante en tres estaciones de monitoreo.⁵

Tabla 3.1

Fechas de recolección de datos de contaminación

Estaciones	Cerro Navia		Las Condes		Santiago Centro	
	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin
Monóxido de carbono (co)	24-03-01	22-09-16	08-04-97	23-07-16	05-04-97	29-10-16
Óxido de nitrógeno (nox)	21-03-09	27-09-16	26-03-09	06-10-16	01-01-00	15-08-16
Ozono (o3)	01-04-01	27-09-16	02-04-97	06-10-16	02-04-97	29-09-16
Material particulado 10 (MP10)	27-03-01	27-09-16	02-04-97	06-10-16	24-04-97	29-09-16

⁵ Las fechas de inicio y término de mediciones de las once estaciones están contenidas en el Anexo A.1.

Fuente: Elaboración propia.

Para obtener los valores de contaminación se consideran tres metodologías. La primera consiste en el cálculo del promedio de contaminación diaria, la segunda es un promedio de contaminación diaria considerando sólo un rango horario definido. La tercera metodología consiste en estimar el porcentaje de tiempo del día en que la contaminación excede la norma

Según lo señalado, la primera metodología estima un promedio simple diario de las 24 observaciones de contaminación del aire en un día. Sin embargo, dicha estimación podría entregar resultados sesgados en cuanto a las concentraciones de polución y su variación a lo largo de un día.

La segunda es estimada como un promedio diario de contaminación, pero considerando un rango horario determinado para los momentos durante el día donde se concentran mayores niveles de polución. Acotar a un rango horario para la estimación del promedio diario podría tener efectos significativos para el análisis de los datos. Esto debido a que los escolares y las personas en general se exponen durante ciertas horas a la contaminación del aire, que justamente tienden a ser las horas de mayor concentración de contaminantes. Esto se puede observar en la Figura 4.1, con gráficos representativos del comportamiento de tres tipos de contaminantes a lo largo de una jornada en distintos sectores de la ciudad de Santiago. Un promedio de las 24 horas del día podría neutralizar fenómenos que estarían sucediendo a lo largo del día con las mediciones de contaminación. Por ejemplo, los efectos sobre la salud de estar expuesto las 24 horas del día a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de material particulado 10, pueden ser diametralmente distintos a tener $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante 12 horas y $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en las otras 12 horas.

De acuerdo con los estudios de – se sabe que los efectos de la contaminación sobre la salud dependen de su concentración y, por lo tanto, existe un umbral que de ser sobrepasado tiene implicancias sobre el sistema respiratorio, estado de alerta, capacidad de resolución de problemas, entre otros.

El rango horario seleccionado es de 06:00. a 12:00 horas. y de 18:00 a 23:00 horas para todos los contaminantes exceptuando el ozono. Para éste se calcula la media del rango horario entre las 09:00 a 18:00 horas, por su comportamiento frente a la radiación solar.

La tercera metodología consiste en el cálculo de la proporción de horas del día en que los niveles de contaminación superan los estándares permitidos. Esta visión podría dar luces sobre la conveniencia de los actuales límites definidos, por lo que se

calculan las proporciones sobre la norma y también al 75% de la norma de cada contaminante. Se analiza esta forma de cálculo en base al estudio de Currie et al. (2009), que define los valores de contaminación como el 75% del Air Quality Standard, demostrando el impacto sobre el ausentismo escolar.

3.3.2 Educación

De las bases provistas por el Mineduc, se seleccionan para el estudio las bases de datos de los estudiantes de cuarto año básico. De las 22 variables originales, se conservan las siguientes: identificador longitudinal de cada alumno (“mrun” en la base de datos), identificador transversal por alumno (idalumno), el código del establecimiento (rbd), la letra del curso y los puntajes obtenidos en cada prueba Simce.

Se consideran los puntajes de matemáticas y lenguaje para el estudio, por la disponibilidad de datos que se extiende en los 10 años estudiados. Se excluyen los puntajes de las asignaturas de comprensión del medio natural, ciencias naturales e historia, geografía y ciencias sociales, ya que no presentan una continuidad de datos suficiente para realizar el análisis. La siguiente tabla presenta las pruebas de Simce realizadas cada año estudiado.

Tabla 3.2

Asignaturas evaluadas en pruebas Simce por año

Área	2002	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Lenguaje y Comunicación: Comprensión de Lectura	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Matemática	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Comprensión del Medio Natural, Social y Cultural	✓	✓	✓	✓						✓
Ciencias Naturales						✓		✓		✓
Historia, Geografía y Ciencias Sociales					✓		✓		✓	

Fuente: Agencia de Calidad de la Educación (2015).

De acuerdo con lo señalado, las mediciones de contaminación se toman en los días de aplicación de las pruebas, y además en los 3, 7 y 14 días previos a dichas fechas. La siguiente tabla presenta todas las fechas de aplicación de las pruebas Simce en los 10 años de estudio.

Tabla 3.3*Fechas de aplicación prueba Simce*

4° Básico	
Año	Fecha
2002	13 y 14 Noviembre
2005	8 y 9 Noviembre
2006	7 y 8 Noviembre
2007	13 y 14 Noviembre
2008	5 y 6 Noviembre
2009	17 y 18 Noviembre
2010	19 y 20 Octubre
2011	12 y 13 Octubre
2012	17 y 18 Octubre
2013	8 y 9 Octubre
2014	14 y 15 Octubre
2015	6 y 7 Octubre
2016	15 y 16 Noviembre

Fuente: Agencia de Calidad de la Educación

En todas las rendiciones de la prueba Simce, se realiza la prueba de matemáticas el primer día y la prueba de comprensión de lectura el segundo día de evaluación.

En cuanto a los puntajes de las pruebas de matemáticas y lenguaje, éstos son proporcionados en una escala determinada por el Mineduc. Sin embargo, éstos se estandarizan con una media de 0 y una desviación estándar de 1, con el objetivo de optimizar la estimación del desempeño.

3.3.2.1. Análisis Factorial

Se construye un índice socioeconómico (ISE) mediante la técnica de análisis factorial. Se utilizan las variables de ingreso por hogar, la escolaridad del padre y de la madre del alumno y del capital intelectual acotado en el número de libros que hay en el hogar.

La razón para construir el índice tiene su origen en el problema de multicolinealidad que se presenta al hacer una regresión con todas aquellas variables mencionadas por separado. En otras palabras, las cuatro variables mencionadas están correlacionadas, y eventualmente generarían problemas en la regresión en cuanto a la significancia estadística individual de las variables. Al reducir las variables, se obtiene un índice elaborado sin indicar la ponderación exacta de éstas, sino que se genera una combinación lineal en una técnica denominada “puntajes basados en factores”.

En la Tabla 3.4, se observan las correlaciones entre las 4 variables mencionadas para construir el índice. La primera observación es que todas ellas están positivamente correlacionadas, y exceptuando la variable libros, el nivel de correlación es alto. En primer lugar, el ingreso está altamente correlacionado con los años de escolaridad de

los padres. Se observa una correlación levemente mayor con el estudio del padre que del estudio de la madre. Esto podría deberse a la brecha salarial del mismo trabajo remunerado entre hombres y mujeres, que en Chile alcanza el 26,6%. Otro factor que influye es que en un 62,4% de los hogares, es el hombre quien es el principal perceptor de ingresos según la encuesta Casen en 2015. En cuanto a la más alta correlación de la tabla entre los estudios del padre y madre se podrían hacer dos conjeturas. La primera es que, en general, ambos padres se relacionan en entornos de personas homogéneas en cuanto a niveles educacionales, y la segunda tiene relación con las preferencias personales de cada individuo.

En cuanto a la correlación de la cantidad de libros con el resto de las variables, está en alrededor de 20% con todas. El interés de incluir esta variable se basa en resumir el capital cultural que explique la tendencia de cada hogar por incentivar el desarrollo del conocimiento, afectando en el desempeño de cada estudiante. Ya que es la variable que tiene menor correlación con las otras, su efecto podría verse absorbido por estas al momento de generar el ISE.

Tabla 3.4

Matriz de correlación de variables demográficas

Variables demográficas	Ingresos	Estudios padre	Estudios madre	Libros
Ingresos	1			
Estudios padre	0.6195	1		
Estudios madre	0.5910	0.6598	1	
Libros	0.2006	0.1901	0.1964	1

La reducción de estas cuatro variables en un índice resuelve el problema de multicolinealidad presente, mejorando la estimación de la regresión y simplificando en un vector el ruido de cada variable.

4. Metodología Empírica

La contaminación del aire no es asignada de forma aleatoria, y los padres pueden elegir el lugar donde viven basados en la calidad del aire y otros factores relacionados con la contaminación y el rendimiento escolar. Por lo que una comparación de corte transversal no podría identificar el efecto causal que la

contaminación podría tener en el desempeño escolar dada la naturaleza observacional de los datos.⁶

Por otro lado, Santiago es una ciudad altamente segregada económicamente. Históricamente, las familias de ingresos bajos y medios viven en el sector poniente y sur de la ciudad, mientras que las familias de renta media-alta están situadas en el sector oriente. La parte poniente tiene una elevación de 550 metros en promedio sobre el nivel del mar (m. s.n.m.), mientras que el sector oriente está en promedio a 900 m.s.n.m. Esta observación no es trivial, dado que la mayoría de las partículas contaminantes tienen un peso molecular mayor al del aire, por lo tanto, tienden a seguir la gravedad, además de las corrientes de aire en la cuenca.

De acuerdo con las características topográficas señaladas, la contaminación del aire se distribuye de forma heterogénea sobre la ciudad. Para ejemplificar la situación, se presenta la Figura 4.1 con los niveles de contaminación de MP₁₀, CO y O₃ para tres comunas durante una semana de invierno de Julio en el 2013.

En el análisis de las comunas de Cerro Navia, Santiago Centro y Las Condes se observan distintas concentraciones de cada contaminante. Esto se relaciona con la actividad de cada comuna, que depende de factores como el nivel de industrialización, flujo vehicular o el uso de calefacción a leña, entre otros. Los gráficos (a), (b) y (c) corresponden a la concentración de MP₁₀, donde se observa que Cerro Navia alcanza niveles ampliamente superiores en comparación con Las Condes y Santiago, superando un día los 400 µg/m³.

Pese a que la norma chilena indica que la concentración máxima permitida es de 150 µg/m³ en un día, las tres comunas lo exceden los 5 días de la semana en algún punto del día. En todas las comunas se observa una tendencia de máximas concentraciones durante dos momentos del día. El primero se presenta alrededor de las 9 a.m. y el segundo en torno a las 6 p.m. Sin embargo, este patrón se acentúa en Cerro Navia, teniendo Santiago Centro un mayor nivel en la mañana.

Por otro lado, el CO permanece sostenidamente en niveles bajo la norma chilena, con la misma tendencia de concentrarse durante esos dos momentos del día. Además, el CO se comporta de forma similar al MP₁₀, en relación con que los mayores niveles están en Cerro Navia y Santiago Centro, y luego Las Condes con concentraciones significativamente menores.

⁶ Los datos recolectados para el estudio, tanto de contaminación como de educación, son obtenidos desde una situación dada, no experimental y exógena al observador.

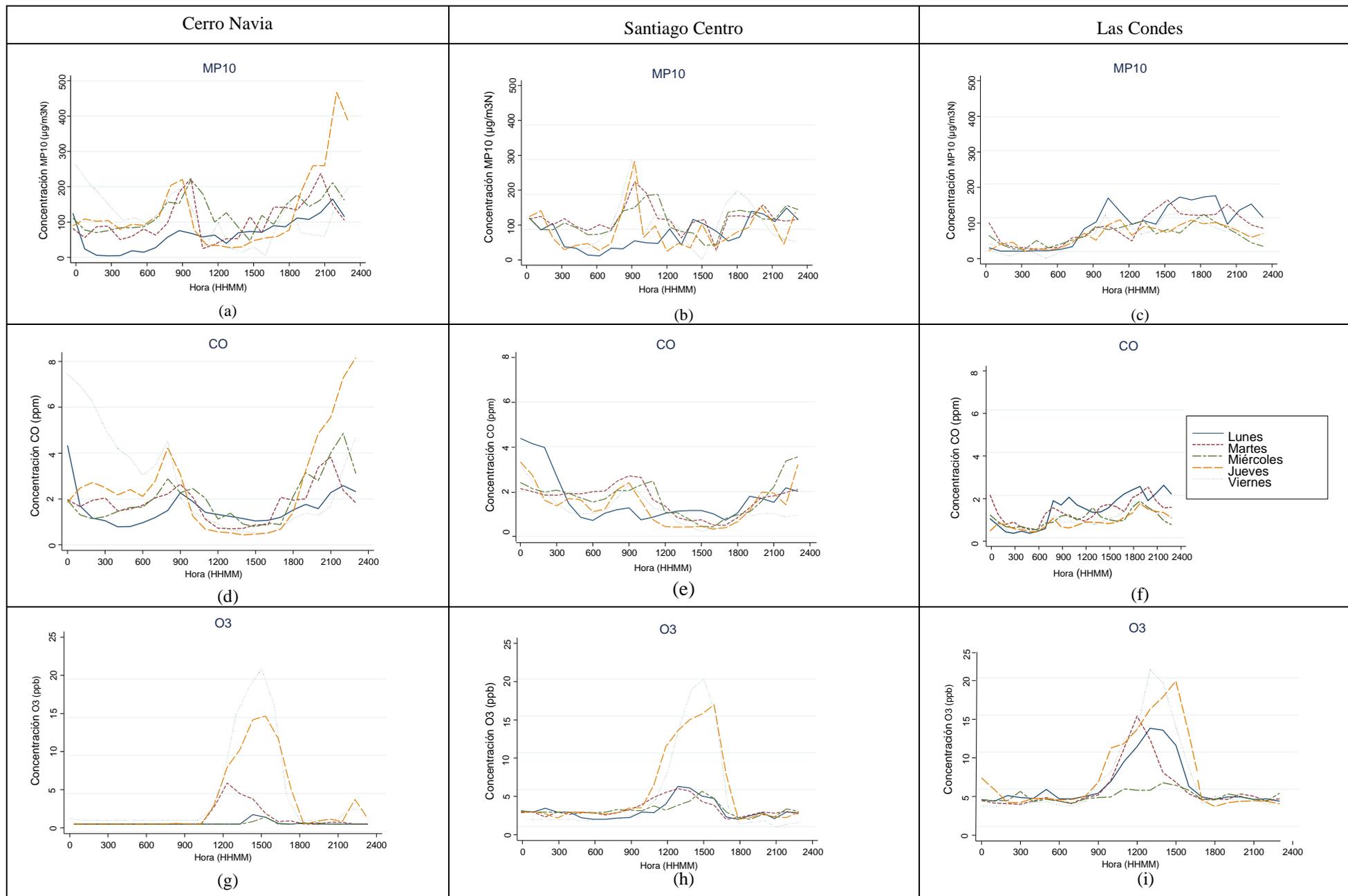


Figura 4.1: Contaminación en semana de invierno (8 al 12 de Julio de 2013)

En cuanto al Ozono, presenta un comportamiento particular, ya que alcanza sus mayores niveles alrededor de las tres de la tarde. Esto ocurre ya que este tipo de contaminante se activa con la radiación solar según la EPA. El ozono troposférico (distinto a la capa de ozono en la estratósfera) es un contaminante que se origina por la reacción química de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos en presencia de radiación solar. Sus niveles aumentan en verano y en zonas con mayor radiación. En Santiago, las zonas con mayor contaminación de ozono están en los sectores altos de la ciudad. Por lo tanto este contaminante se distribuye en la ciudad de forma opuesta al resto de ellos, como el material particulado, el monóxido de carbono u otros. Lo anterior se observa en la Figura 4.2 a continuación.

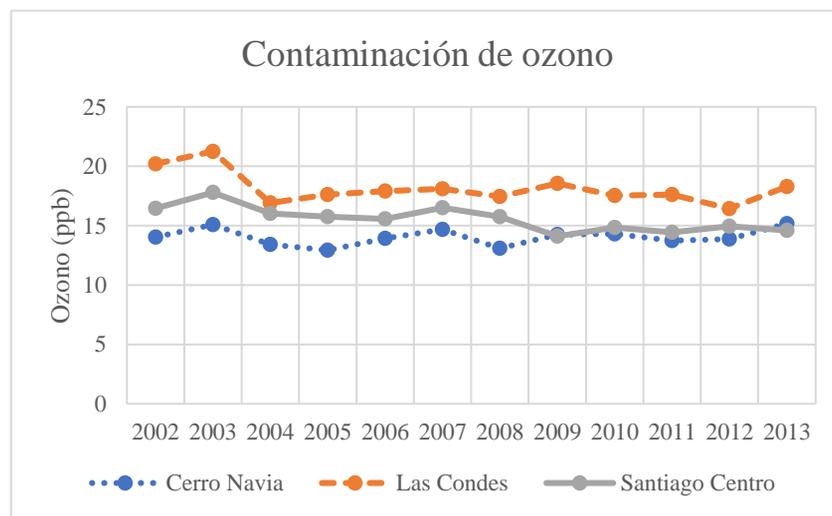


Figura 4.2: Contaminación de ozono en tres comunas.

4.1 Especificación

Para remover la influencia de factores confusos no observables,⁷ se utiliza la siguiente regresión econométrica de panel:

$$R_{ijt}^s = \beta_0 + \delta * Pol_{jt}^p + X_{ijt} * \beta_1 + S_{jt} * \beta_2 + \eta_j + \lambda_t + \varepsilon_{ijt} \quad (3.1.1)$$

donde i es estudiante, j es colegio y t es tiempo; s es el tipo de examen; p es el contaminante; R_{ijt}^s es el rendimiento escolar; Pol_{jt}^p es el nivel de contaminación del aire; X_{ijt} es un índice de estatus socioeconómico de los estudiantes; S_{jt} son las características por colegio; η_j y λ_t corresponden a los efectos fijos de colegio y tiempo, respectivamente⁸. En resumen, este modelo compara los resultados escolares en un colegio dado a lo largo del tiempo, mientras se controlan las características socioeconómicas observables que varían a través del tiempo de los estudiantes y

⁷ Factores confusos son aquellas variables que afectan a la variable dependiente e independiente, y no han sido cuantificadas u observadas.

⁸Para estimación de efectos fijos, se utiliza la metodología usada por Marcotte (2015), quien evalúa el impacto de la presencia de polen en el rendimiento escolar.

colegios, así como también las características fijas no observadas. El modelo presentado se denomina B, mientras que el modelo A excluye los efectos fijos de colegio y tiempo.

Se estimará un tercer modelo, C, de Variable Instrumental (Mínimos cuadrados de dos etapas), que tratará el problema de endogeneidad presente en la relación de la contaminación del aire con el rendimiento escolar. La preocupación sobre endogeneidad se debe tener en cuenta considerando que las diferencias en los niveles de contaminación a lo largo de áreas geográficas podrían capturar diferencias en el estatus socioeconómico de distintos estudiantes.

Dadas las características topográficas y meteorológicas de Santiago, la contaminación del aire se redistribuye hacia los sectores más pobres de la capital, y por lo tanto podrían presentarse problemas de endogeneidad. Los efectos observados podrían no ser causales, ya que los padres podrían decidir dónde vivir basados en sus preferencias por una mejor calidad del aire (Chay & Greenstone, 2005) y calidad del colegio. También las condiciones de urbanización, niveles de criminalidad o la calidad de los colegios podrían conducir a un menor nivel de educación de sus estudiantes, que se ven afectados por numerosas situaciones de vulnerabilidad y desigualdad económica. Aquellas variables causales no observadas, por lo tanto, podrían afectar en último término el rendimiento escolar.

El instrumento que se utilizará en el modelo C de Variable Instrumental para el nivel de contaminación es la humedad relativa. El instrumento ideal es la lluvia dada la intensidad que tiene para cambiar los niveles de contaminación. Sin embargo, dado que las fechas en que se rinde el examen SIMCE no se registran precipitaciones, el instrumento disponible que mejor podría representar dicho efecto exógeno es el mencionado.

4.2 Efectos Fijos

Mejorar la técnica econométrica requiere evaluar si en el problema de investigación se está en presencia de efectos aleatorios o efectos fijos. Para ello se realiza el test de hipótesis de Durbin Watson⁹, donde la hipótesis nula es que los efectos a lo largo de los datos son aleatorios. Sin embargo, es posible también tener una intuición respecto a que los efectos son fijos si se observa que cada colegio de la muestra convive en un entorno de aprendizaje diferente. Además de las características intrínsecas de cada establecimiento, existen variables que permanecen durante los años y no son posibles de cuantificar. Un ejemplo de esto podría ser la existencia de un micro

⁹ Prueba que detecta autocorrelación en los residuos de un análisis de regresión.

basural contiguo o cercano al establecimiento. Éste, diariamente afecta la calidad del entorno en el que los estudiantes se desarrollan. Otro ejemplo sería el nivel de “bullying” y la forma de tratarlo en cada colegio.

Según Valenzuela, Bellei, y De Los Ríos (2010) la educación en Chile es altamente segregada, generando amplias brechas entre los niveles educativos de establecimientos públicos y los privados. Por lo tanto, es esperable observar esta diferencia en los resultados de las pruebas y también en las características demográficas de los alumnos. El método de efectos fijos considera aquellas brechas, incluyendo las variables constantes para cada establecimiento que no son observadas en el modelo de regresión.

Entonces, de acuerdo con el modelo de regresión señalado se aplica la técnica de efectos fijos, que utilizan las variables de colegio y año para mejorar la estimación estadística. Este modelo permite incorporar el cálculo de las variables no observadas que son constantes en el tiempo.

En cuanto a los efectos fijos por establecimiento, éstos permiten controlar por los 898 colegios analizados.

4.3 Errores

En el análisis es relevante poner atención a la forma en que se deben tratar los errores de las regresiones propuestas, pues los supuestos de una regresión lineal deben cumplirse para que las inferencias sean válidas. En ese sentido, se explica a continuación la forma en que los errores son tratados. Esto es simple de implementar en el software estadístico Stata®, pero se debe comprender su significado para la adecuada implementación de estas correcciones.

4.3.1 Errores estándares robustos

Como en todo análisis de mínimos cuadrados ordinarios, se requiere verificar que los supuestos para su evaluación se cumplan, de forma de proveer un análisis estadísticamente significativo y robusto. Uno de aquellos supuestos se basa en verificar que los errores estándares de las variables sean homoscedásticos.¹⁰ Es decir, que la varianza de los errores sea constante y no varíe en distintos niveles del factor. En la Figura 4.2 se observan las diferencias gráficas entre ambos tipos de errores. Los errores heteroscedásticos se dispersan al aumentar el valor de x , de forma desigual a lo largo de los datos. Por el contrario, los errores homoscedásticos mantienen un nivel de dispersión constante, independientes de los valores de la variable x .

¹⁰ De acuerdo con los supuestos de Gauss Markov en modelo de mínimos cuadrados ordinarios.

En el caso de los datos de panel de educación, es necesario realizar un ajuste en el modelo de regresión para corregir una eventual situación de heteroscedasticidad. Los errores estándares robustos garantizan el cumplimiento del supuesto de homoscedasticidad y en los resultados se observa incluso que éstos disminuyen respecto a los errores estándares no robustos.

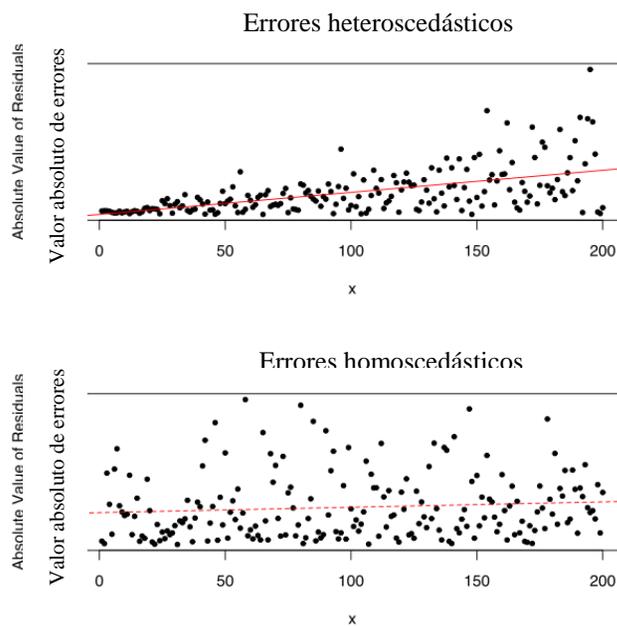


Figura 4.3: Errores heteroscedásticos y homoscedásticos

4.3.2 Errores estándares agrupados

Se utiliza este método cuando existen distintas estructuras de covarianza en los datos, que se agrupan según ciertas características, como los estudiantes de cada colegio y liceo. Según esto cada observación en el panel no se evalúa individualmente, sino que se toma el conjunto de datos por colegio. Esto reduce significativamente la cantidad de observaciones calculadas por separado, quedando 898 grupos que comparten particularidades atribuibles a su cultura organizacional.

La razón para agrupar por establecimientos es que cada uno de ellos presenta características distintivas, por ejemplo, el nivel de los profesores, la infraestructura, las tradiciones de la comunidad. Cada colegio tiene un ambiente de aprendizaje distinto, que determina el desempeño académico de sus estudiantes. Con la incorporación de esta técnica, el modelo mejora la metodología econométrica, sin embargo, aumentan los errores estándares de los coeficientes.

4.4 Variable instrumental

El modelo de variable instrumental permite mejorar la estimación del modelo a través de la incorporación de una variable exógena. Esto a raíz del problema de endogeneidad planteado.

El método de variable instrumental sirve para resolver el sesgo de la medición del error en los modelos de regresión, por la relación simultánea de la variable de interés y la variable dependiente. También se aplica cuando hay variables no observadas. El coeficiente de la regresión está sesgado hacia cero cuando la variable de interés está medida con errores aleatorios.

La variable instrumental debe estar correlacionada con las variables explicativas endógenas. Asimismo, no debe estar correlacionada con el término de error en la ecuación. De acuerdo con los dos tipos de endogeneidad señalados, la variable exógena que se introduce al modelo es el viento. Esta variable está altamente correlacionada con la variable de interés, pero no con el término de error. Idealmente se utilizaría el registro de precipitaciones como variable instrumental, ya que ésta afecta exógenamente la contaminación. Sin embargo, las fechas de aplicación del Simce son en los meses de octubre y noviembre, por lo que el nivel de lluvia durante la época es escaso. La variable de viento cumple con las condiciones necesarias para utilizarla como variable instrumental. Se relaciona intrínsecamente con la contaminación, movilizándolo las masas de aire y disipando las concentraciones de contaminación. Además, no se relaciona con el término de error en el modelo, ya que éste incluye todas las variables no observadas relativas al desempeño escolar.

5. Resultados y discusión

5.1 Hechos estilizados

Las bases de datos de panel, tanto para los datos de contaminación como el simce, ofrecen múltiples posibilidades de análisis estadístico. De forma previa a profundizar en los resultados de las regresiones de panel, se presentan una serie de hechos estilizados para contextualizar la información respecto a niveles de contaminación y su relación con el rendimiento escolar.

Puntajes de Simce de lenguaje y matemáticas

Los comportamientos de los puntajes del Simce resultan necesarios para comprender y analizar su relación con la contaminación del aire. Los puntajes en ambas pruebas Simce tienen una tendencia clara al alza entre los años 2002 y del 2005 al 2012,

y tanto los resultados de lenguaje como matemáticas disminuyeron en el año 2013. En el análisis a lo largo de 10 años se observa que los puntajes en lenguaje son sostenidamente mayores que los de matemáticas. La menor brecha se aprecia en el año 2002, con 4 puntos de diferencia entre los promedios. En cambio, en el año 2010 el puntaje promedio de lenguaje superó por 18 puntos el promedio en matemáticas.

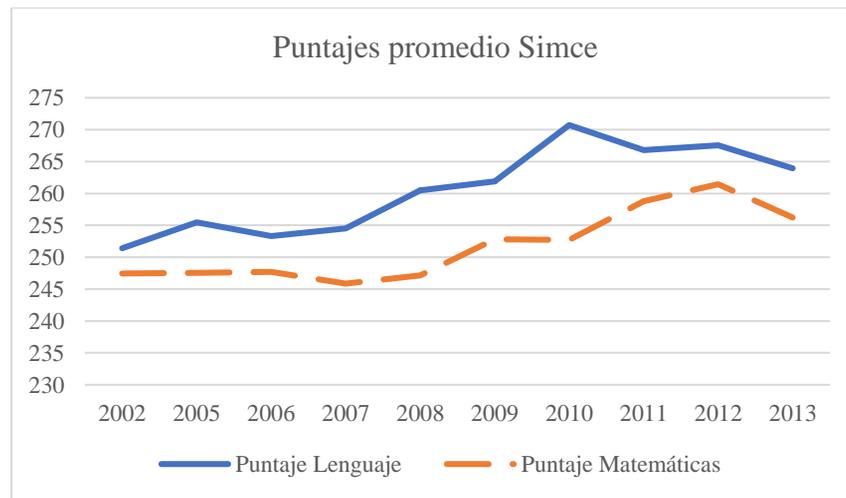


Figura 5.1: Puntajes promedio anuales las pruebas de Lenguaje y Matemáticas.

Cabe recordar que para efectos del análisis econométrico los puntajes de Simce fueron estandarizados, por lo que los efectos estimados para ambos son marginales y no en términos absolutos.

Puntajes promedio según tipo de establecimiento

Al observar el rendimiento en las pruebas según el tipo de establecimiento de los estudiantes, se aprecian amplias brechas en los puntajes. Los colegios municipales son los que obtienen peores resultados en ambas asignaturas. Le siguen en puntaje los colegios particulares subvencionados, y en los colegios particulares pagados se presentan los mejores resultados. Esto es coherente con el estudio de Valenzuela et al. (2010) que aborda el tema de la segregación escolar, que también se aprecia en el siguiente gráfico:

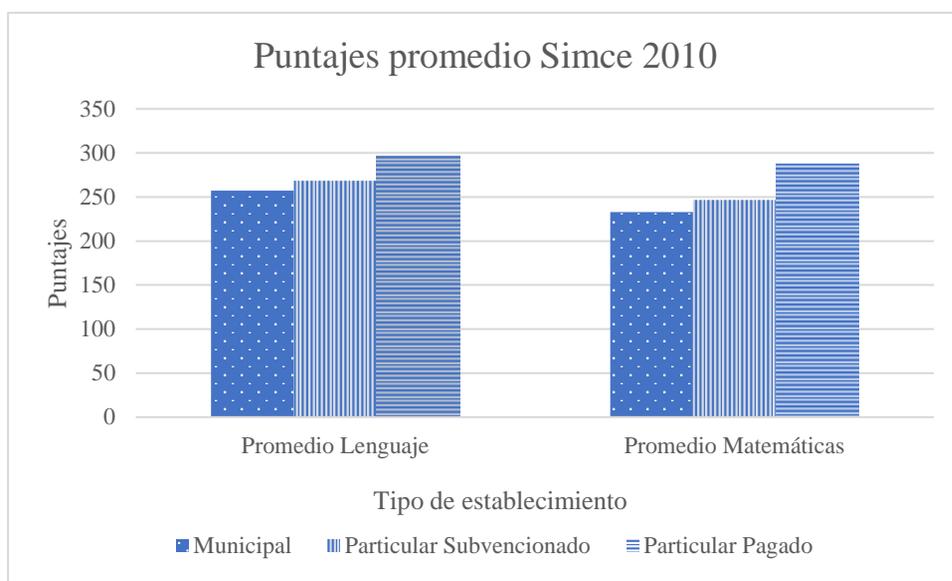


Figura 5.2: Puntajes de Lenguaje y Matemáticas según tipo de establecimiento.

Se selecciona aleatoriamente el año 2010 para observar las diferencias en los puntajes de matemáticas y lenguaje. Tal como se mencionó con el Gráfico 5.1, los resultados de lenguaje son históricamente mejores que los de matemáticas. La brecha se aprecia también en la Figura 5.2 y además se evidencia una desigualdad en relación con el tipo de establecimiento.

En la asignatura de lenguaje, la diferencia entre un colegio público y uno particular pagado es de 39 puntos en promedio, un 15% superior. La diferencia es de un 10% respecto a un establecimiento particular subvencionado. En los resultados de matemáticas, se observa una diferencia de 54 puntos entre colegios públicos y particulares pagados, lo que equivale a una diferencia del 23%. Entre los colegios públicos y particulares subvencionados hay una brecha del 6%. De ambas asignaturas, la mayor diferencia entre colegios se advierte en matemáticas, lo que podría ser revelador para evaluar el impacto diferenciado de la contaminación en ambas.

Estos resultados son reveladores en cuanto a las diferencias mencionadas entre tipos de colegios, ya que es evidente que el rendimiento de los estudiantes se ve mermado o potenciado según a qué colegio asistan. El tema de la segregación escolar nuevamente cobra importancia ya que se observa que factores socioeconómicos determinan las diferencias en los rendimientos. Entonces, controlar en el modelo por aquella variable es necesario para determinar la causalidad de la contaminación en el rendimiento. Adicionalmente, hay variables no observadas socioeconómicas que podrían generar eventualmente un problema de endogeneidad, es por esto que se utiliza una variable instrumental en el modelo.

Relación entre monóxido de carbono (CO) y Simce de lenguaje

Como primer acercamiento a comprender la relación entre contaminación y el rendimiento en el Simce se evalúa el comportamiento del monóxido de carbono y los resultados del Simce de lenguaje. Es relevante su estudio ya que éste se genera especialmente por las emisiones del parque automotriz y por la combustión incompleta de los compuestos carbonados como leña, carbón o parafina, como señala el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC) en 2017.

En la Figura 5.3 representa el nivel de contaminación del monóxido de carbono y los puntajes promedio en la prueba de lenguaje. En el tiempo que contempla el estudio, el nivel de contaminación baja significativamente en el año 2005 y luego se mantiene relativamente estable, con un alza en el 2009. Los resultados de la prueba de lenguaje se mueven la mayoría de los años de forma inversa a los puntajes, sin embargo, esto podría estar relacionado con variables no observadas también. El gráfico da indicios de una correlación, por esto es necesario evaluar el impacto causal de la contaminación en los puntajes mediante regresiones de panel.

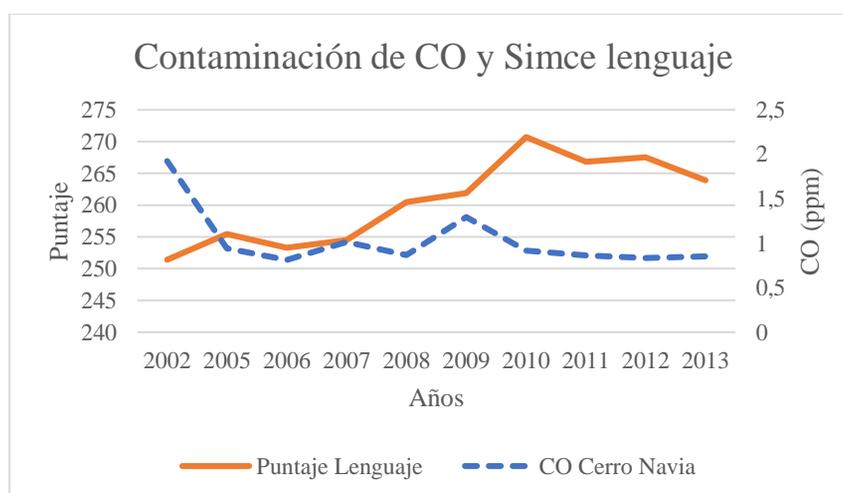


Figura 5.3: Nivel de contaminación de CO y puntajes de lenguaje.

Relación entre promedio de material particulado PM10 y resultados Simce.

Las partículas de un tamaño menor a 10 micrones son las más nocivas para la salud, incluso no se ha determinado un umbral mínimo donde no se observen daños a la salud según la OMS (2016). Por ello, el análisis con el material particulado 10 podría revelar una relación con el rendimiento.

Existen dos tendencias a lo largo de los 10 años estudiados: en general, la contaminación de material particulado 10 ha disminuido, y por otro lado los resultados en ambas pruebas han mejorado sostenidamente. Pese a que ambas variables pueden haber mejorado en sus dimensiones respectivas por regulaciones y políticas directas, no se puede descartar la relación con el nivel de contaminación. En la Figura 5.4 se

observa que la mayor caída en contaminación del periodo ocurre en el año 2010, que coincide con la mayor alza observada en la prueba de lenguaje.

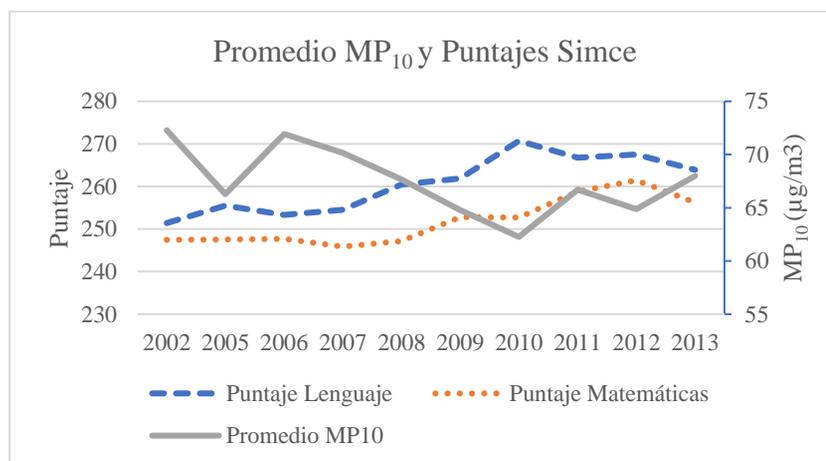


Figura 5.4: Puntajes Simce y promedio de contaminación de MP₁₀

Gráficamente, los resultados de lenguaje parecen ser más sensibles en relación con los valores de contaminación. Ambas variables se comportan de forma inversa a lo largo del periodo.

Promedios de contaminación por comuna

La contaminación se distribuye de forma heterogénea a lo largo de la ciudad, por lo que se requiere de contextualizar la situación en cuanto a niveles de contaminación en cada comuna. Con la información de las 11 estaciones de monitoreo, se elabora la Figura 5.5 que muestra que la comuna con el mayor promedio anual de contaminación de material particulado 10 es Quilicura. Luego están La Florida, El Bosque, Pudahuel, Santiago centro y Cerro Navia, todas comunas con promedios superiores a $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

El estándar de material particulado 10 en Chile es de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de forma anual, por lo que solo la comuna de Talagante estaría cumpliendo con la normativa de contaminación. La OMS por su parte, recomienda un nivel promedio de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ anualmente, sin embargo todas las comunas de la ciudad superan el doble de ese valor.

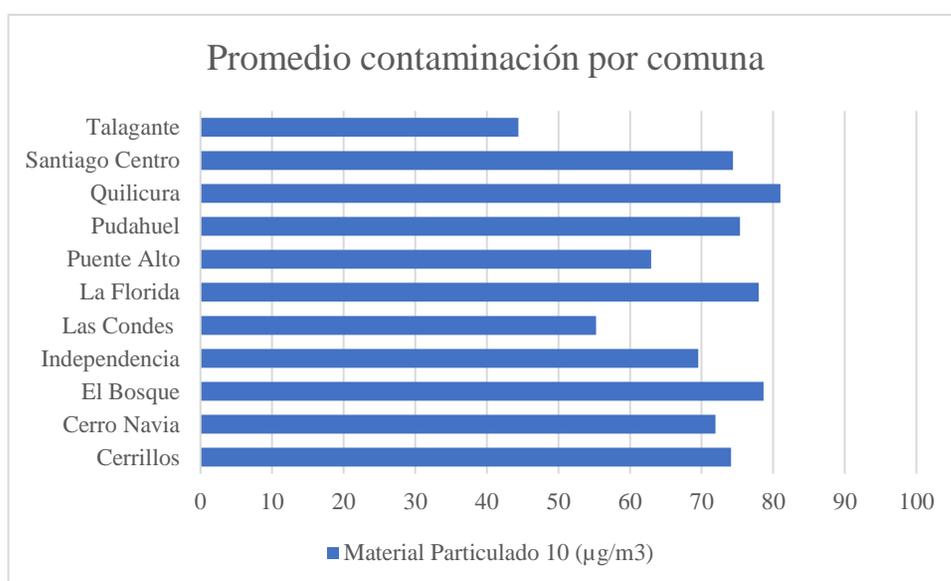


Figura 5.5: Promedios de contaminación por comuna de MP₁₀

Promedios de contaminación por comuna en meses de invierno

Los mayores niveles de contaminación en la ciudad se generan en los meses de invierno, periodo que concentra las alertas medioambientales y planes de descontaminación. La ventilación del aire empeora, dificultando la circulación de éste y solo las lluvias despejan temporalmente la contaminación.

Evaluar los promedios anuales de contaminación podría ocultar información relevante sobre la alta concentración de polución que enfrenta la población en los meses de invierno. Si bien, 10 de 11 comunas estudiadas de la ciudad no cumplen con la norma a nivel anual, la mala calidad del aire en invierno se eleva a niveles más preocupantes. En la Figura 5.6 se observan los promedios de contaminación de material particulado en las 11 comunas. La comuna de Cerro Navia es la más contaminada con un valor alrededor de los 90 µg/m³. Pese a que no estaba en la clasificación de las comunas más contaminadas a nivel anual, sí lo es al considerar solo los meses de invierno. Esto significa que la población de esa comuna está expuesta a altísimos niveles durante este periodo de tiempo, superando en las horas de contaminación del día la regulación de 150 µg/m³ máximo en 24 horas. La diferencia del promedio de material particulado PM₁₀ de Cerro Navia con Las Condes, la comuna menos contaminada, es de 93%.

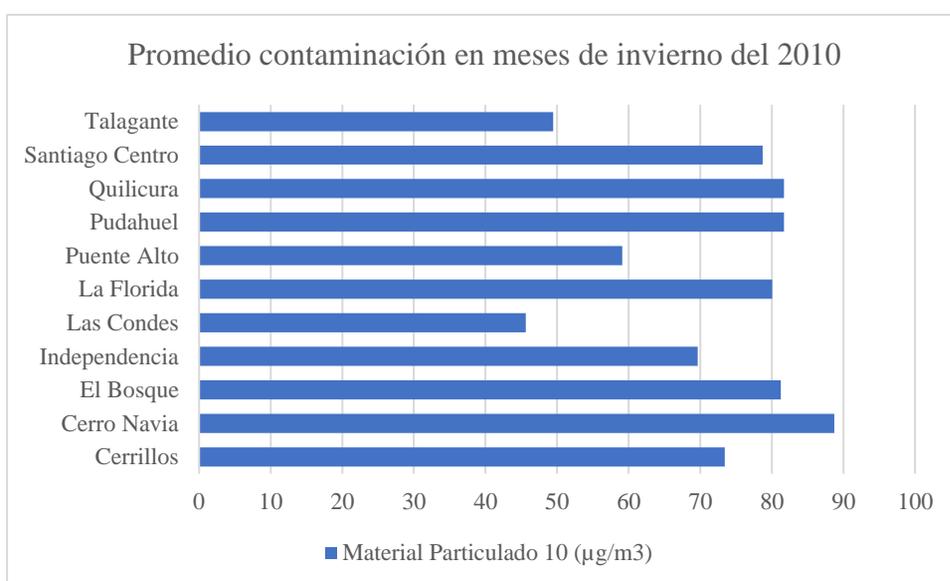


Figura 5.6: Promedio diario MP₁₀ en meses de junio, julio y agosto del 2010.

5.2 Test de las hipótesis

A continuación se testean las hipótesis planteadas en esta memoria de título. Para ello se utilizan herramientas tanto descriptivas como de análisis econométrico incluyendo corte transversal y datos de panel.

5.2.1 Hipótesis 1:

Exposición a partículas contaminantes podría afectar negativamente el desempeño académico diario con problemas de concentración, habilidad, resolución de problemas y estado de alerta general.

Para llevar a cabo la prueba de hipótesis se realiza el análisis de regresión presentado. Determinar que las partículas contaminantes podrían afectar el desempeño requiere de calcular el efecto causal de la contaminación en los puntajes de Simce.

La hipótesis nula es que la contaminación no tiene efecto causal sobre los puntajes de Simce, por lo que $H_0: \beta=0$. La hipótesis alternativa plantea un efecto causal negativo, por lo que $H_1: \beta<0$.

5.2.2 Hipótesis 2:

Exposición a la contaminación del aire podría tener un efecto cognitivo diferente en relación con el tipo de disciplina.

Se evalúan los puntajes de lenguaje y comunicación y matemáticas de forma separada. Así es posible determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre el efecto causal de la contaminación y ambas asignaturas.

La forma de determinar la validez de la hipótesis es comparando los coeficientes obtenidos en la regresión en ambas asignaturas.

5.2.3 Resultados exploratorios

Se inicia el análisis de corte transversal con regresiones exploratorias que permiten vislumbrar los primeros resultados y evaluar cada modelo. Se plantean los siguientes cuatro modelos con datos de corte transversal en el año 2010:

- i. Modelo 1: Regresión de puntajes de lenguaje y matemáticas por separado con contaminación. Se evalúan resultados con aplicación de errores estándares simples y errores estándares robustos.
- ii. Modelo 2: Regresión de puntajes de lenguaje y matemáticas por separado con contaminación e ISE. Se realiza regresión con errores estándares robustos.
- iii. Modelo 3: Regresión de puntajes de lenguaje y matemáticas por separado con contaminación, ISE y tipo de colegio. Se incluye en la regresión los colegios municipales y colegios particulares subvencionados, por lo que se consideran como línea base los colegios particulares pagados.
- iv. Modelo 4: Regresión de puntajes de lenguaje y matemáticas por separado con contaminación, y las variables demográficas de forma desagregada, para evaluar la incidencia de cada una de ellas y su significancia estadística individual.

Tabla 5.1*Resultados regresión corte transversal para el año 2010*

Matemáticas	Formas de imputación de contaminación			
	Todas	10km	Más cercana	Más cercana directa
CO	0.0193*** (-0.0045)	0.0069 (0.0043)	-0.0062** (0.0031)	-0.0149*** (0.0034)
ISE	0.0101** (0.0042)	0.0112*** (0.0042)	0.0123*** (0.0042)	0.0123*** (0.0042)
Municipal	-1.2208*** (0.0121)	-1.2191*** (0.0122)	-1.2163*** (0.012)	-1.2195*** (0.0121)
Part. Subven.	-0.7922*** (0.0104)	-0.7931*** (0.0105)	-0.7910*** (0.0104)	-0.79313*** (0.0105)
NOX	0.0104*** (0.0047)	0.0224*** (0.0044)	-0.0125*** (0.0037)	-0.0199*** (0.0037)
ISE	0.0087** (0.0042)	0.0098** (0.0042)	0.0128*** (0.0042)	0.0128*** (0.0042)
Municipal	-1.2234*** (0.0121)	-1.2247*** (0.0121)	-1.2156*** (0.0120)	-1.2153*** (0.0120)
Part. Subven.	-0.7931*** (0.0104)	-0.7958*** (0.0105)	-0.7898*** (0.0104)	-0.7917*** (0.0104)
O3	0.0059 (0.0045)	-0.0074* (0.0043)	-0.0317*** (0.0035)	-0.0586*** (0.0040)
ISE	0.0115*** (0.0042)	0.0124*** (0.0042)	0.0116*** (0.0042)	0.0084** (0.0042)
Municipal	-1.2195*** (0.0123)	-1.300*** (0.0126)	-1.1946*** (0.0123)	-1.1789*** (0.0123)
Part. Subven.	-0.7933*** (0.0106)	-0.7857*** (0.0109)	-0.7673*** (0.0107)	-0.7460*** (0.0109)
PM10	0.0240*** (0.0046)	0.0075* (0.0044)	-0.0095*** (0.0034)	-0.0300*** (0.0037)
ISE	0.0098** (0.0042)	0.0113*** (0.0042)	0.0122*** (0.0042)	0.0118*** (0.0042)
Municipal	-1.2256*** (0.0122)	-1.2211*** (0.0124)	-1.2120*** (0.0121)	-1.2038*** (0.0121)
Part. Subven.	-0.7965*** (0.0105)	-0.7949*** (0.0107)	-0.7859*** (0.0106)	-0.7736*** (0.0106)
PM2.5	0.0253*** (0.0047)	0.0102** (0.0045)	-0.0098*** (0.0036)	-0.0261*** (0.0035)
ISE	0.0093** (0.0043)	0.0109** (0.0042)	0.0126*** (0.0042)	0.0129*** (0.0042)
Municipal	-1.2247*** (0.0121)	-1.2217*** (0.0123)	-1.2129*** (0.0121)	-1.2081*** (0.0121)
Part. Subven.	-0.7955*** (0.0105)	-0.7953*** (0.0106)	-0.7870*** (0.0105)	-0.7798*** (0.0105)

Nota: ***p<0.01, **p<0.05, *p<0.1

Errores estándares robustos

5.4 Análisis de datos de panel

Los datos de panel permiten obtener una mejor estimación del modelo, ya que funciona con la información del corte transversal, pero que evalúa a los individuos a lo largo del tiempo. Se analizan N individuos a lo largo del tiempo “t”, que para este estudio son los 10 años mencionados (2002 y 2005 al 2013).

La estructura de la base de datos de contaminación y datos de educación corresponde a un “pseudo panel”. La razón es que se estudian una cantidad N de estudiantes de cuarto básico, pero no se evalúan los mismos individuos a lo largo del tiempo, sino que cada año son alumnos distintos. Además, se descartaron los datos de los estudiantes que dieron las pruebas por segunda vez por haber repetido de curso, ya que podrían tener cierta ventaja al enfrentar nuevamente la evaluación.

También se clasifica esta estructura de datos como micropanel, dado que se analizan una gran cantidad de individuos, pero con pocas observaciones temporales para cada uno, que en este caso corresponden a cada año.

Como se mencionó en la sección 4. Metodología Empírica, se estiman tres modelos de regresión. El primero de ellos es de corte transversal, que fue abordado en la sección anterior 5.3 como resultados exploratorios. El segundo modelo es de análisis de panel controlando por variables de colegio y estudiante. El tercer modelo es de regresión de panel con la inclusión de la variable instrumental. Estos dos últimos modelos incluyen efectos fijos, tanto de año como de colegio, la versión A del modelo tiene efectos fijos solo de colegio, y la versión B incluye efectos fijos de colegio y tiempo. Una de las ventajas de utilizar datos de panel para la regresión es justamente incluir el modelo de efectos fijos, para identificar variables no observadas, pero constantes en el tiempo.

Además, para la estimación de datos de panel se seleccionaron dos metodologías de imputación de contaminación. Se analizan todas las estaciones de monitoreo y también la metodología de la estación de monitoreo más cercana ponderada por la distancia.

Adicionalmente, se realizan las regresiones no solo para el día de aplicación del Simce, sino que se hace un seguimiento de los días previos a la evaluación. Se considera el mismo día de evaluación (1), y 2, 3, 7, 14 y 28 días anteriores a la prueba.

5.4.1 Lenguaje

Los hallazgos más relevantes de las regresiones de panel se observan con dos contaminantes, el monóxido de carbono y el óxido de nitrógeno. Respecto del monóxido de carbono, se presentan las tablas resultantes de la versión A y B.

La primera de ellas es la Tabla 5.2, donde se observa un efecto negativo estadísticamente significativo para ambas metodologías de imputación y también para todos los días de evaluación. Pese a que ambos resultados son negativos, se aprecia una diferencia considerable entre los efectos de la metodología de imputación de todas las estaciones y la estación más cercana.

Tabla 5.2

Modelo 2. A

CO	1	2	3	7	14	28
Todas	-0.249**	-0.281***	-0.231**	-0.229**	-0.232*	-0.214
	[0.103]	[0.108]	[0.103]	[0.106]	[0.120]	[0.132]
Más cercana	-0.042***	-0.047***	-0.042***	-0.041***	-0.042***	-0.042***
	[0.013]	[0.014]	[0.014]	[0.014]	[0.015]	[0.016]

Nota: ***p<0.01, **p<0.05, *p<0.1. Errores estándares robustos.

El efecto negativo para la imputación de todas las estaciones está entre las 0.229 a las 0.281 desviaciones estándar del puntaje Simce. Mientras que, con la imputación de contaminación de la estación más cercana, los efectos negativos están entre los 0.041 y 0.047. Los resultados sugieren que los resultados son estadísticamente mejores con la metodología de la estación más cercana, que, aunque presenta efectos menores, todos sus coeficientes tienen un nivel de significancia de 0.001. Además, los errores estándares robustos de esta última metodología son menores.

Al controlar en la regresión por efectos fijos de colegio y de tiempo simultáneamente, se obtienen los resultados de la Tabla 5.3, que presenta resultados similares al modelo A en cuanto a la magnitud de los coeficientes y errores estándares robustos. Los resultados al aplicar los efectos de tiempo provocan una leve disminución en los efectos estimados. Esto podría explicarse como una reducción de los grados de libertad de la regresión al controlar por más variables, que en este caso son los 10 años de evaluación.

Tabla 5.3

Modelo 2. B

CO	1	2	3	7	14	28
Todas	-0.246**	-0.285***	-0.231**	-0.218**	-0.206*	-0.16
	[0.099]	[0.105]	[0.101]	[0.104]	[0.116]	[0.129]
Más cercana	-0.041***	-0.047***	-0.041***	-0.040***	-0.038***	-0.033**
	[0.012]	[0.014]	[0.014]	[0.014]	[0.014]	[0.015]

Nota: ***p<0.01, **p<0.05, *p<0.1. Errores estándares robustos.

Tal como se observó en el modelo A, los resultados presentan magnitudes considerablemente diferentes comparando las dos metodologías de imputación. Sin

embargo, el nivel de significancia de todos los coeficientes (excepto el del día 28, con método de todas las estaciones) es transversal para distintos días y ambas metodologías. La imputación de la estación más cercana es la que tiene mayores niveles de significancia estadística, con 5 de 6 estimadores con un nivel de 0.001 de significancia.

Otro elemento de análisis es la observación de los efectos según los días previos a la prueba. Para el contaminante CO, en ambos modelos, no se observa un patrón ascendente o descendente definido en cuanto a las magnitudes de los coeficientes.

A la vista de estos resultados, se puede inferir que el impacto del monóxido de carbono sobre los resultados del Simce de lenguaje podría tener repercusiones serias en el desempeño de los estudiantes.

El otro contaminante en que se obtuvieron resultados estadísticamente significativos fue el óxido de nitrógeno (NOx), en la Tabla 5. , donde las dos metodologías presentan sólidos coeficientes en cuanto a su significancia estadística y la magnitud de los estimadores. Además, se observa un comportamiento relativamente similar al contaminante CO. Esto porque los coeficientes de la imputación de todas las estaciones tienen mayores efectos sobre el rendimiento que la imputación de la estación más cercana.

Para este contaminante, también se observa que no hay un patrón definido en relación con los días previos evaluados. Tanto el CO, como el NOx tienen en común que cuando se presenta menor significancia estadística es en la regresión de 28 días anteriores al examen.

Tabla 5.4

Modelo 2. B

NOx	1	2	3	7	14	28
Todas	-0.012*** [0.003]	-0.013*** [0.003]	-0.013*** [0.004]	-0.017*** [0.004]	-0.013*** [0.004]	-0.010** [0.004]
Más cercana	-0.002*** [0.000]	-0.002*** [0.001]	-0.002*** [0.001]	-0.002*** [0.001]	-0.002*** [0.000]	-0.001** [0.001]

Nota: ***p<0.01, **p<0.05, *p<0.1. Errores estándares robustos.

Para el contaminante material particulado 10 los resultados no son estadísticamente significativos, pese a que los coeficientes expresan una relación negativa entre contaminación y puntajes Simce.

Como se observa en la Tabla 5. la imputación de contaminación de todas las estaciones tiene en todos los horizontes de evaluación un signo negativo, sin embargo, no se puede establecer causalidad al no obtener un nivel de significancia aceptable. En la imputación de la estación más cercana los resultados son 0, lo que significa que con

los datos disponibles no se puede establecer una relación entre la contaminación y el rendimiento. En el caso del material particulado fino, tampoco se evidenciaron resultados estadísticamente significativos para hacer el análisis, sin embargo, dichos resultados están en la sección de Anexos A.3.

Tabla 5.5

Modelo 2. B

PM10	1	2	3	7	14	28
Todas	-0.002	-0.002	-0.003	-0.004	-0.006	-0.004
	[0.002]	[0.003]	[0.003]	[0.004]	[0.004]	[0.004]
Más cercana	0	0	0	0	0	0
	[0.000]	[0.000]	[0.000]	[0.000]	[0.001]	[0.001]

Nota: ***p<0.01, **p<0.05, *p<0.1. Errores estándares robustos.

El contaminante ozono, según los resultados en la Tabla 5. , no muestran una relación de la contaminación y el rendimiento que sea estadísticamente significativa. Incluso, los estimadores tienen resultados mixtos, por lo que no se puede atribuir causalidad a la contaminación de ozono. Además, es relevante recordar que el comportamiento del ozono difiere del resto de los contaminantes en cuanto a su distribución en la ciudad y los horarios en que se concentra principalmente. Esto podría indicar que no necesariamente el ozono afecta el nivel cognitivo de los estudiantes al momento de rendir el Simce.

Tabla 5.6

Modelo 2.B

O3	1	2	3	7	14	28
Todas	0.005	-0.001	0	0.005	0.008	0.009
	[0.010]	[0.011]	[0.010]	[0.011]	[0.013]	[0.014]
Más cercana	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	0	-0.001
	[0.001]	[0.001]	[0.001]	[0.002]	[0.002]	[0.002]

Nota: ***p<0.01, **p<0.05, *p<0.1. Errores estándares robustos.

Previo a presentar los resultados del modelo 3, se evalúan los resultados para el ozono, específicamente en el modelo 1 (OLS), donde se pueden observar diferencias relevantes para el análisis. Cuando no se controla por las variables de colegio y estudiante, los coeficientes resultan con signo positivo y estadísticamente significativos. Estos resultados según el fundamento del estudio no tiene sentido, sin embargo, se pueden hacer ciertas conjeturas sobre aquellos resultados. Como se detalla en la sección 4. Metodología Empírica, el ozono está presente en mayores niveles en las comunas más altas de la capital en cuanto a los m.s.n.m. Estas comunas como Las Condes, Vitacura, Lo Barnechea, La Reina, que se caracterizan por tener en promedio

un mayor porcentaje de personas de ingreso medio-alto. Entonces, cuando los resultados indican que la contaminación de ozono causaría una mejora en el rendimiento, en realidad podría ser un sesgo por la relación que hay entre el nivel de ingresos y la contaminación por comuna. Al observar la Tabla 5. Que sí controla por variables de estudiante y colegio, los resultados de los coeficientes dejan de ser estadísticamente significativos. Esta diferencia entre los modelos demuestra la relevancia en la formulación de los modelos, que al incorporar variables de índice socioeconómico y tipo de colegio varían sustancialmente sus resultados.

Tabla 5.7

Modelo 1. A

O3	1d	2d	3d	7d	14d	28d
Todas	0.085*** [0.032]	0.117*** [0.035]	0.107*** [0.033]	0.097*** [0.037]	0.093** [0.044]	0.064 [0.046]
Más cercana	0.009** [0.004]	0.012*** [0.005]	0.012*** [0.004]	0.011** [0.005]	0.011** [0.006]	0.010* [0.006]

***p<0.01, **p<0.05, *p<0.1. Errores estándares robustos.

Tabla 5.8

Modelo 1. B

O3	1d	2d	3d	7d	14d	28d
Todas	0.003 [0.015]	0 [0.017]	0.006 [0.016]	0.004 [0.018]	0.001 [0.022]	0.001 [0.023]
Más cercana	0.003 [0.002]	0.003* [0.002]	0.004* [0.002]	0.004* [0.002]	0.004 [0.003]	0.005* [0.003]

***p<0.01, **p<0.05, *p<0.1. Errores estándares robustos.

El tercer modelo de regresión se realiza agregando una variable instrumental al modelo, para tratar eventuales problemas de endogeneidad en la estimación. Se utiliza la humedad relativa como variable intrumental en su relativa capacidad de predecir o tener un comportamiento similar a la contaminación. Tal como se abordó en la sección 4.4 Variable Instrumental, se describe al instrumento ideal que serían las precipitaciones, sin embargo, en las fechas de rendición de Simce casi no se registran lluvias. Entonces, se evidencia a priori que la humedad relativa no es el mejor mecanismo para abordar el modelo, pero por disponibilidad de datos es aquella que se utilizará en este estudio.

En la siguiente tablas 5. , 5. Y 5. , se observan resultados mixtos en cuanto a la magnitud de los coeficientes, sin embargo, para todos los contaminantes evaluados no

hay resultados que tengan la significancia estadística para determinar una causalidad de la contaminación sobre los puntajes.

Tabla 5.9

Modelo 3.A

PM10	1	2	3	7	14	28
Todas	0.004 [0.005]	0.007 [0.008]	0.005 [0.009]	0.015 [0.015]	-0.01 [0.032]	-0.036 [0.024]
Más cercana	0 [0.002]	0.001 [0.004]	0 [0.004]	0.004 [0.005]	-0.002 [0.005]	-0.048 [0.031]

***p<0.01, **p<0.05, *p<0.1. Errores estándares robustos.

En el caso del contaminante NO_x, es el único que presenta estimadores negativos en 5 de los 6 periodos de evaluación, pero como ya se mencionó, ninguno de ellos es estadísticamente significativo.

Tabla 5.10

Modelo 3.A

NOx	1	2	3	7	14	28
Todas	-0.005 [0.007]	-0.008 [0.011]	-0.006 [0.011]	-0.007 [0.007]	-0.001 [0.003]	0.007 [0.005]
Más cercana	0 [0.001]	0 [0.001]	0 [0.002]	-0.001 [0.001]	0 [0.001]	0.001 [0.001]

***p<0.01, **p<0.05, *p<0.1. Errores estándares robustos.

Tabla 5.11

Modelo 3.A

CO	1	2	3	7	14	28
Todas	0.104 [0.145]	0.115 [0.145]	0.087 [0.146]	0.148 [0.147]	0.046 [0.156]	-0.508 [0.342]
Más cercana	0 [0.035]	0.005 [0.032]	0.001 [0.033]	0.025 [0.034]	0.013 [0.030]	-0.134 [0.084]

Nota: ***p<0.01, **p<0.05, *p<0.1. Errores estándares robustos.

5.4.2 Matemáticas

Se presentarán los mismos contaminantes que en la sección de lenguaje porque ambos resultados se comportan relativamente parecidos y también facilita la comparación.

Nuevamente los contaminantes CO y NO_x son aquellos que tienen resultados estadísticamente significativos y por ello es relevante observar la magnitud de éstos.

En la Tabla 5. Están los resultados de las regresiones para el modelo A (solo efecto fijo por colegio). Todos los estimadores para ambas formas de imputación son negativos, pero sólo el del día de aplicación de la prueba es un resultado estadísticamente significativo. La imputación de todas las estaciones tiene un estimador de -0.234 al 0.05 de nivel de significancia. La imputación de la estación más cercana tiene un -0.033 al mismo nivel de significancia. Este tipo de imputación también tiene estimadores significativos para los 14 y 18 días previos, en un rango de -0.028 y -0.033.

Tabla 5.12

Modelo 2.A

CO	1	2	3	7	14	28
Todas	-0.234** [0.111]	-0.168 [0.106]	-0.13 [0.104]	-0.129 [0.114]	-0.189 [0.123]	-0.191 [0.140]
Más cercana	-0.033** [0.016]	-0.026 [0.016]	-0.022 [0.015]	-0.019 [0.016]	-0.028* [0.016]	-0.033* [0.017]

Nota: ***p<0.01, **p<0.05, *p<0.1. Errores estándares robustos.

Al comparar con los resultados de lenguaje, se observa que existen similitudes en cuanto a la diferencia de magnitudes de los estimadores que se obtienen con ambos métodos de imputación.

En el caso de la versión con efectos fijos por colegio y año del modelo 2, se evidencian mejores resultados en cuanto a que más estimadores son estadísticamente significativos. En ambas metodologías de imputación los estimadores son negativos para todos los horizontes de evaluación. Sin embargo, los días que resultaron significativos fueron el mismo día de aplicación y 14 y 28 días anteriores.

Tabla 5.13

Modelo 2. B

CO	1	2	3	7	14	28
Todas	-0.231** [0.113]	-0.175 [0.108]	-0.149 [0.106]	-0.152 [0.116]	-0.230* [0.126]	-0.256* [0.144]
Más cercana	-0.030* [0.016]	-0.024 [0.016]	-0.02 [0.015]	-0.02 [0.016]	-0.033** [0.016]	-0.040** [0.018]

Nota: ***p<0.01, **p<0.05, *p<0.1. Errores estándares robustos.

Respecto al contaminante NOx, se obtienen resultados estadísticamente significativos para ambos tipos de imputación y para todos los horizontes evaluados a un nivel de 0.001 de significancia. Estos resultados son sólidos para hablar de una causalidad de la contaminación sobre el rendimiento escolar, ya que indiferente de si se observan todas las estaciones o la más cercana, los resultados son negativos

transversalmente. Además, como ya se ha observado en resultados anteriores, los estimadores son de mayor magnitud cuando se evalúan todas las estaciones de monitoreo.

En este caso, se distingue un patrón ascendente de los estimadores a medida que se evalúan más días previos al examen. Esto podría significar que existe un efecto acumulativo de contaminación sobre los puntajes y no solo se observa el mismo día de aplicación.

Tabla 5.14

Modelo 2.A

NOx	1	2	3	7	14	28
Todas	-0.007*** [0.003]	-0.010*** [0.003]	-0.012*** [0.004]	-0.012*** [0.004]	-0.013*** [0.004]	-0.013*** [0.004]
Más cercana	-0.001*** [0.000]	-0.002*** [0.000]	-0.002*** [0.001]	-0.002*** [0.001]	-0.002*** [0.001]	-0.001*** [0.001]

Nota: ***p<0.01, **p<0.05, *p<0.1. Errores estándares robustos.

Al incorporar los efectos fijos por año al modelo, se obtienen los resultados de la Tabla 5. , que similar al modelo A, se obtiene que todos los estimadores son negativos y estadísticamente significativos. Incluso, la mayoría de los estimadores tiene un efecto levemente más negativo que la versión A. También se observa que existe un patrón creciente de los estimadores, exceptuando la regresión de 28 días previos.

Tabla 5.15

Modelo 2. B

NOx	1	2	3	7	14	28
Todas	-0.008*** [0.003]	-0.010*** [0.003]	-0.012*** [0.004]	-0.013*** [0.004]	-0.014*** [0.004]	-0.012*** [0.004]
Más cercana	-0.001*** [0.000]	-0.002*** [0.000]	-0.002*** [0.001]	-0.002*** [0.001]	-0.002*** [0.001]	-0.002*** [0.001]

Nota: ***p<0.01, **p<0.05, *p<0.1. Errores estándares robustos.

Para el material particulado 10, tal como se reportó con los resultados de lenguaje, en la asignatura de matemáticas tampoco se ven efectos consistentes de la contaminación sobre el rendimiento escolar. Se observan coeficientes mixtos para la imputación de todas las estaciones, sin embargo, ninguno de ellos es estadísticamente significativo. En la metodología de la estación más cercana se aprecia claramente que no existe relación causal de la contaminación de MP10 en el rendimiento.

Tabla 5.16*Modelo 2.B*

PM10	1	2	3	7	14	28
Todas	-0.001 [0.003]	-0.002 [0.003]	0.001 [0.004]	0.001 [0.004]	-0.001 [0.005]	-0.001 [0.005]
Más cercana	0 [0.000]	0 [0.000]	0 [0.000]	0 [0.001]	0 [0.001]	0 [0.001]

Nota: ***p<0.01, **p<0.05, *p<0.1. Errores estándares robustos.

Respecto del modelo 3 para la prueba de matemáticas, se observan resultados mixtos. Esto producto de que la variable instrumental de humedad relativa se considera débil para predecir el comportamiento de los contaminantes.

En el caso del material particulado 10, a los resultados obtenidos de los estimadores se les llama “signo perverso”, ya que es lo contrario a lo que se esperaría según las modelaciones teóricas. La Tabla 5. Muestra que en la imputación de todas las estaciones para los días 1, 2 y 3 previos hay un efecto estadísticamente significativo, pero positivo. La imputación de la estación más cercana tiene resultados que no son significativos (excepto por el día 3).

Tabla 5.17*Modelo 3. A*

PM10	1	2	3	7	14	28
Todas	0.021* [0.012]	0.015* [0.008]	0.024* [0.013]	0.024 [0.018]	0.401 [0.348]	0.023 [0.023]
Más cercana	0.006 [0.004]	0.003 [0.002]	0.007* [0.004]	0.006 [0.005]	-0.018 [0.014]	0.028 [0.025]

Nota: ***p<0.01, **p<0.05, *p<0.1. Errores estándares robustos.

Los resultados de la regresión del contaminante NOx (Tabla 5.), ofrecen mejores posibilidades de análisis, ya que todos sus estimadores son negativos, y parte de ellos son estadísticamente significativos. Para la imputación de todas las estaciones, los días 1, 2 y 3 tienen coeficientes que varían entre -0.017 y 0.022, siendo todos significativos. Para la imputación de la estación más cercana, pese a que todos los estimadores son negativos, sólo la regresión de 3 días previos es significativa al 0.1.

Tabla 5.18*Modelo 3. A*

NOx	1	2	3	7	14	28
Todas	-0.017* [0.004]	-0.023* [0.004]	-0.022* [0.004]	-0.01 [0.005]	-0.005 [0.005]	-0.004 [0.005]

	[0.010]	[0.013]	[0.012]	[0.007]	[0.004]	[0.004]
Más cercana	-0.004	-0.003	-0.003*	-0.002	-0.001	-0.002
	[0.003]	[0.002]	[0.002]	[0.002]	[0.001]	[0.002]

Nota: ***p<0.01, **p<0.05, *p<0.1. Errores estándares robustos.

El modelo B, en la Tabla 5. , que incluye efectos fijos de tiempo y colegio, presenta coeficientes que son negativos para ambas formas de imputación y días previos. Sin embargo, sólo es estadísticamente significativo para la regresión de 3 días previos al Simce.

Tabla 5.19

Modelo 3. B

NOx	1	2	3	7	14	28
Todas	-0.016	-0.019	-0.020*	-0.01	-0.006	-0.005
	[0.010]	[0.014]	[0.012]	[0.008]	[0.005]	[0.005]
Más cercana	-0.002	-0.002	-0.003*	-0.002	-0.001	-0.001
	[0.002]	[0.002]	[0.002]	[0.001]	[0.001]	[0.001]

Nota: ***p<0.01, **p<0.05, *p<0.1. Errores estándares robustos.

Con los resultados del modelo 3, se evidencia que no hay muchas conclusiones posibles que inferir respecto a la relación de la contaminación del aire. Más bien, es necesario hacer una crítica a la variable utilizada como instrumental, la humedad relativa. Esta variable no pudo capturar el efecto causal de la contaminación ya que cumple a medias el requisito de que la variable instrumental debe estar fuertemente correlacionada con la variable de interés.

Una posibilidad interesante de estudio posterior sería la de hacer un análisis de panel que evalúe el rendimiento de los mismos estudiantes a lo largo de varias evaluaciones de Simce.

6. Conclusiones

La contaminación es una preocupación global, y pese a que ha disminuido durante los últimos años en Santiago según el Ministro de Medio Ambiente, sigue en niveles que afectan seriamente la salud.

6.1 Efectos estimados

Los análisis de regresión de corte transversal y de panel indican que existe un efecto causal de la contaminación sobre el rendimiento escolar para ciertos contaminantes. Sobre los resultados de la regresión de corte transversal se observan efectos negativos y estadísticamente significativos para todos los contaminantes. Al comparar las cuatro metodologías de imputación de contaminación, se evidencia que aquellas que arrojan un resultado más negativo y significativo eran las dos que consideraban la contaminación de la estación más cercana. En cambio, la que mostraba resultados más ambiguos, era la que consideraba todas las estaciones. Sobre las diferencias por asignaturas, los resultados fueron mixtos, por lo que no se puede indicar que la contaminación afecte los resultados de ambas asignaturas de forma diferenciada.

En los datos de panel el análisis es relativamente diferente, ya que los resultados de las regresiones mostraban que hay dos contaminantes que generan un efecto sobre los puntajes del Simce. Para el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno se observan resultados donde los estimadores de la regresión son negativos y estadísticamente significativos, sin relación con los días previos que se evalúan. Además, para el análisis de panel se consideran dos metodologías de imputación para contrastar los resultados. Tanto la metodología que considera a todas las estaciones como la más cercana tuvieron resultados de estimadores negativos y significativos. Sin embargo, no se observa que alguna de ellas tenga resultados considerablemente mejores que la otra, sino que son mixtos. En relación al análisis por asignaturas, tampoco se aprecia un patrón claro en los resultados para afirmar que la contaminación afectaría los resultados de una sobre otra.

Sobre los resultados de las regresiones de panel, existe una observación interesante en relación al origen y comportamiento del CO y NO_x que podrían ser relevantes en la elaboración de políticas públicas para mitigar la polución. Según el RETC, el transporte en la ciudad genera un 84% de los óxidos de nitrógeno y 91% de monóxido de carbono. Por lo tanto, la mayor parte de la contaminación que está afectando el rendimiento escolar de los estudiantes tiene su origen en los niveles de polución generados por la movilización en la ciudad. Una política focalizada a la planificación del sistema de transporte urbano podría disminuir eventualmente el efecto negativo sobre el rendimiento escolar, además de otras externalidades.

6.2 Sugerencia de política pública

La necesidad de mejorar las regulaciones medioambientales y avanzar en políticas que reduzcan la contaminación del aire es prioritario para mejorar el bienestar de la población. Como los resultados lo exponen, peores rendimientos académicos en niños de educación básica demuestran ser una externalidad negativa más de la polución en la ciudad.

En la actualidad, se utilizan diversos métodos para abordar el problema de la contaminación del aire. Para la ciudad de Santiago, se presentan tres alternativas que contribuirían en la disminución de ésta. La primera se refiere al pago de impuestos por emisión de contaminación, la segunda a la exigencia de estándares más estrictos por contaminante, y la tercera a la creación de un mercado de bonos transables de contaminación.

6.2.1 Impuestos a los contaminantes

Los impuestos “verdes” se formulan para generar un incentivo a la protección ambiental, o como retribución por el daño hecho al entorno local y global. Las tres categorías principales son los impuestos ambientales fiscales, las tasas de incentivos y el cubrimiento de costos.

En el año 2018 empezará a regir en el país un impuesto *pigouviano*¹¹ a las emisiones contaminantes, como parte de la ley general de reforma tributaria. Este tipo de impuesto busca corregir la externalidad negativa que generan las emisiones de procesos industriales. De esta forma, se internaliza el costo de la externalidad por parte de los productores o consumidores, evitando una pérdida de eficiencia en el mercado. Asimismo, se pretende igualar el costo marginal social del impacto de la contaminación al costo marginal privado sumado al impuesto.

En el Artículo 8 de la Ley 20.780 (2017) se detalla el mecanismo del impuesto, que grava de forma directa las emisiones industriales. Todo uso de caleras o turbinas que igualen o superen una potencia térmica de 50 MWt (megavatios térmicos) será afecto al impuesto. De acuerdo con lo señalado por el ministro del Medio Ambiente, Marcelo Mena (2017), el 94% de los impuestos lo van a pagar la generación a carbón. Equivalente a 230 millones de dólares que se van a recaudar y que van a permitir muchos cambios para reducir emisiones y enfrentar el cambio climático".

Los contaminantes se distinguen por el impacto local o global que provocan. El dióxido de carbono (CO₂) es el principal responsable del efecto invernadero y por esa razón la ley establece un impuesto de \$5 por tonelada emitida. Esta medida está en el

¹¹ Por el economista británico Arthur Pigou, el primero en proponer el mecanismo para la externalidad.

marco de las regulaciones para enfrentar el cambio climático, donde Chile es el primer país en Sudamérica en implementar esta herramienta de gestión ambiental global.

Referente a los contaminantes que impactan de manera local en la población, se determina gravar las emisiones de material particulado (MP), monóxido de nitrógeno (NO) y dióxido de azufre (SO₂). Se establece una fórmula que calcula el daño diferenciado generado por las emisiones. Así, el impuesto será mayor en ciudades saturadas o latentes de contaminantes y aumentará con relación al número de habitantes de cada una. La fórmula es la siguiente:

$$T_{ij} = 0,1 * CCA_j * CSC_{pci} * Población_j \quad (6.1)$$

Donde T_{ij} es el impuesto por tonelada emitida del contaminante “i” en la comuna “j”, en US\$/Ton. CCA es el coeficiente de calidad del aire en la comuna “j”. Este es determinado por una declaración legal del Ministerio del Medio Ambiente sobre la zona donde se ubica el establecimiento. El coeficiente en una zona saturada es de 1.2 y en zona latente de 1.1. CSC significa el costo social de contaminación per cápita del contaminante “i”, cuyos valores son determinados por un estudio del Ministerio a cargo. El costo en US\$ del MP es de 0.9, del SO₂ es de 0.01 y el de NO₂ es de 0.025. Finalmente, también se calcula la población de la comuna “j”, según la proyección oficial del Instituto Nacional de Estadísticas por año.

Además del impuesto a la emisión de fuentes fijas de contaminación, la ley incorpora un impuesto a la importación de vehículos livianos con motor diésel. Esto busca desincentivar el uso de éstos por las altas emisiones de material particulado de genera, sin embargo, sería interesante observar los efectos si el impuesto fuese sobre el consumo del combustible y no la adquisición del vehículo.

La implementación de la ley ya rige para el último impuesto mencionado, y el 2018 empezará el plan de impuestos a las emisiones contaminantes. Ambas, junto a planes de descongestión ambiental buscan disminuir efectivamente los niveles de contaminación de la ciudad. Sin embargo, los resultados de dichas políticas aún no se han presentado y por lo tanto se requiere de tiempo para hacer una evaluación objetiva de sus beneficios y costos.

6.2.2 Modificación de estándares de calidad del aire

Cada contaminante en el aire tiene efectos diversos sobre la salud y el bienestar de la población. Así, la regulación de la calidad del aire se hace una herramienta indispensable en el control de la polución. La Organización Mundial de la Salud proporciona ciertas directrices para establecer los límites de contaminación del aire. Así mismo, en la Unión Europea y en Estados Unidos a través de la EPA, también se

determinan los niveles máximos permitidos de contaminación. Cada contaminante, de acuerdo con su comportamiento y nocividad, tiene un límite máximo permitido dentro de un rango de tiempo establecido. En la Tabla 5.1 se observan los principales contaminantes y su estándar máximo según la organización o gobierno que lo rige.

Tabla 6.1

Comparación de estándares de calidad del aire

Contaminante	OMS	Unión Europea	EE. UU.	Chile
Ozono (8 horas. Ppb)	50	60	70	75
Material particulado 10 (24 horas. $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	50	50	150	150
Material particulado 2.5 (24 horas. $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	25	50	35	35
Dióxido de azufre (24 horas. Ppb)	8	48	100	100
Dióxido de nitrógeno (Anual, ppb)	21	21	53	53
Monóxido de carbono (8 horas. Ppm)	9	9	9	9

Fuente: Thongplang, J. (2015, September 30). International air quality standards: how do they compare? *Aeroqual*. Recuperado de <https://www.aeroqual.com/air-quality-standards>.

En la comparación de estándares, se observa a simple vista que las regulaciones chilenas son relativamente más permisivas que en otros países. Solo en el monóxido de carbono se permite la misma cantidad de partículas por millón en un plazo de 8 horas. Sin embargo, para el resto de los contaminantes, Chile está bastante lejos a lo que recomendaría la OMS. Además, se aprecia que las regulaciones chilenas son iguales (excepto por el ozono) a las establecidas por la EPA en Estados Unidos. Por otra parte, la legislación en la Unión Europea es la que tiene mejores estándares, aun cuando no igualan a la OMS, sí se observan parámetros más exigentes.

Según la OMS, el material particulado afecta más que cualquier otro contaminante a la población. Mientras las partículas son más finas, generan un mayor impacto en la salud, por lo tanto, la exposición crónica contribuye al riesgo de desarrollar enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Las medidas reportadas son entregadas en términos de concentraciones de microgramos por metro cúbico. Pese a esto, se ha detectado que aun en bajas concentraciones, el material particulado genera efectos nocivos para la salud, por lo que la OMS en 2005 estableció las concentraciones más bajas posibles.

La evaluación del impacto social y económico de modificar los estándares podría sugerir que una legislación más estricta sobre el material particulado 10 podría mejorar la calidad del aire. Actualmente el máximo en 24 horas es de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pese a que la OMS y la UE lo establecen en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Los efectos de este cambio en la

regulación podrían ser dramáticos, ya que existen comunas como Cerro Navia o Pudahuel que tienen promedios que rondan los $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio en los meses de invierno. Un eventual cambio en la regulación generaría que los episodios de alertas, preemergencias y emergencias en el Gran Santiago aumente considerablemente.

En el año 2017, se registró una baja histórica de los episodios de emergencias en la capital. Según el artículo de Espinoza (2017) los episodios del material particulado fino (MP2.5) disminuyeron en un 36% respecto al año anterior, y un 44% menos respecto al 2014. Además, se debe destacar la reducción en las horas de duración de los episodios críticos, que pasaron de 565 horas en condición de alerta a 386 horas. Esto último tiene un efecto directo sobre el bienestar de la población, donde se redujeron las enfermedades respiratorias y la mortalidad prematura en 1,340 casos aproximadamente.

Según estos antecedentes, las políticas de descontaminación ambiental en la ciudad podrían estar siendo efectivas, sin embargo, se requieren más años de estudios para determinar su eficiencia. Pese a esto, una política más estricta de calidad del aire podría potenciar esta disminución en la contaminación de material particulado y situar a Chile como líder regional en políticas ambientales.

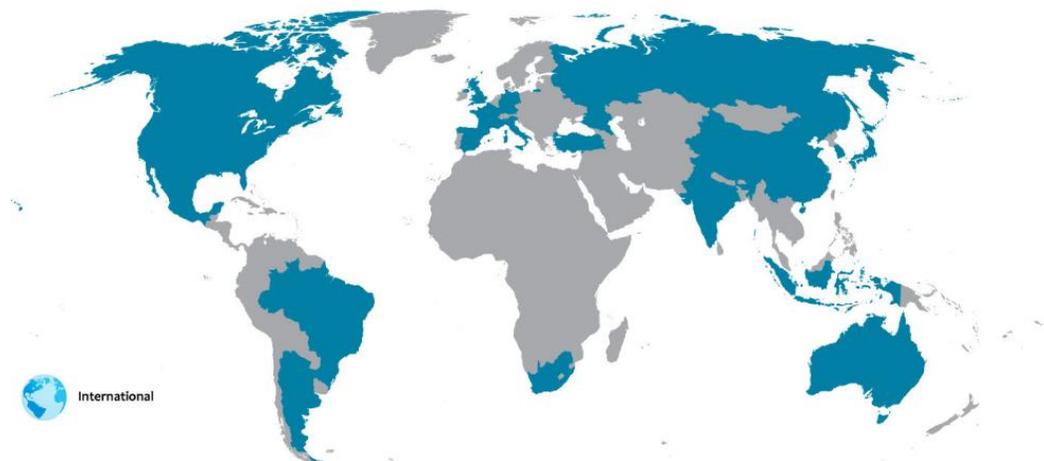
6.2.3 Bonos verdes

Los bonos de emisiones contaminantes son un mecanismo global formulado para disminuir las emisiones de contaminantes que producen el cambio climático. Fue propuesto como uno de los tres métodos de descontaminación en el Protocolo de Kioto (1992), y que se ha profundizado luego de la firma del Tratado de París en 2015. Hasta el momento, los bonos de carbón han sido una medida efectiva para controlar las emisiones de contaminantes. Sin embargo, la lógica sostenible plantea que no solo se puede pagar por contaminar, sino que se debe transformar la matriz contaminante usando otros tipos de energías no convencionales.

El avance a tecnologías limpias y la exigencia global por reducir las emisiones contaminantes han cambiado el comportamiento de los productores y consumidores hacia esa dirección. Los bonos verdes nacen en respuesta a la necesidad de integrar al mercado empresas y proyectos que se financien de forma sustentable. Estos tipos de bonos financian proyectos de energías alternativas, de eficiencia medioambiental, transporte ecológico e incluso en la gestión de residuos. Uno de los aspectos más importantes es la certificación del uso de fondos y la verificación de que el proyecto realmente cumpla con las características de “verde”.

Un estudio de ONU Medio Ambiente (2017) señaló que la emisión de bonos verdes a nivel global se duplicó en el año 2016. Incluso, se observó un aumento de un 25% entre el 2014 y 2016 de los activos basados en capitales verdes.

Entre las agencias que certifican los bonos verdes están Climate Bonds Initiative, las “cuatro grandes” (KPMG, E&Y, Deloitte y PWC), también Moody’s, S&P, UK Green Investment Bank, Trucost China, Oekom, Sustainalytics, Vigeo y DNV, según Giorgianni (2017). También hay países que han tomado la iniciativa de generar mercados locales de bonos verdes a través de sus plazas financieras. Entre ellas, Londres, Luxemburgo, Ciudad de México, Estocolmo y Oslo. La figura 6.1 presenta el mapa mundial donde están presentes los mercados locales de bonos verdes. En Sudamérica Argentina, Uruguay y Brasil ya participan de dichos mercados, por lo que se puede aprender de la experiencia de la región e integrar este sistema a la realidad nacional.



Fuente: Green Finance Progress Report (2017).

Figura 6.1: Mapa mundial de mercados locales de bonos verdes

Para potenciar el mercado, de acuerdo con la experiencia internacional, se requiere de una acción regional e institucional en Sudamérica. Actualmente ya lo está haciendo la agencia de ONU regional (CEPAL) y el World Energy Council, que están abiertos a apoyar y guiar a los gobiernos en la formulación de las 17 acciones comprometidas al 2030 para el desarrollo sostenible.

Hasta el momento, los bonos verdes parecen tener un potencial importante de crecimiento por dos razones, la primera es que las empresas que buscan operar bajo estándares sostenibles han aumentado considerablemente. La segunda es que este instrumento financiero conecta la economía real, las finanzas y la búsqueda por disminuir los efectos del cambio climático. Uno de los principales problemas que podría tener la implementación del dicho mercado se centra en el “greenwashing”,

donde eventualmente se financien proyectos que en realidad no cumplan con las características sustentables deseadas. Pese a esto, este incipiente mercado se puede ir regulando según la experiencia global, haciendo certificaciones más estrictas, o estandarizadas por sector industrial.

Siendo Santiago una gran metrópoli, que ya ha implementado un gran plan de descongestión ambiental, podría evaluar la conveniencia de financiar ciertos proyectos de transporte y energía a través de los bonos verdes. Especialmente, porque Chile se destaca a nivel regional donde el 20% de su matriz eléctrica es de energías renovables no convencionales, adelantándose a lo que estaba proyectado para el 2025. Lo anterior, permite advertir los esfuerzos en cambiar progresivamente nuestro modelo de producción y consumo hacia energías limpias. Los proyectos de plantas fotovoltaicas y eólicas que se proyectan podrían evaluar el uso del financiamiento verde para su implementación. Asimismo, para reducir la contaminación se podría generar investigación y desarrollo para el uso de automóviles eléctricos en la ciudad con la gestión de bonos verdes.

7. Referencias Bibliográficas

- Bernstein, J. A., Alexis, N., Barnes, C., Bernstein, I. L., Nel, A., Peden, D., Diaz, D., Tarlo, S.M. & Williams, P. B. (2004). Health effects of air pollution. *Journal of allergy and clinical immunology*, 114(5), 1116-1123.
- Bharadwaj, P., Gibson, M., Zivin, J. G., & Neilson, C. A. (2014). *Gray matters: Fetal pollution exposure and human capital formation* (No. w20662). National Bureau of Economic Research.
- Brunekreef, B., & Holgate, S. T. (2002). Air pollution and health. *The lancet*, 360(9341), 1233-1242.
- Chay, K. Y., & Greenstone, M. (1998). *Does air quality matter? Evidence from the housing market* (No. w6826). National Bureau of Economic Research.
- Currie, J., Hanushek, E. A., Kahn, E. M., Neidell, M., & Rivkin, S. G. (2009). Does pollution increase school absences?. *The Review of Economics and Statistics*, 91(4), 682-694.
- Kampa, M., & Castanas, E. (2008). Human health effects of air pollution. *Environmental pollution*, 151(2), 362-367.
- Gramsch, E., Cereceda-Balic, F., Oyola, P., & Von Baer, D. (2006). Examination of pollution trends in Santiago de Chile with cluster analysis of PM 10 and ozone data. *Atmospheric environment*, 40(28), 5464-5475.
- Lavy, V., Ebenstein, A., & Roth, S. (2014). *The impact of short term exposure to ambient air pollution on cognitive performance and human capital formation*(No. w20648). National Bureau of Economic Research.
- Levinson, A. (2012). Valuing public goods using happiness data: The case of air quality. *Journal of Public Economics*, 96(9), 869-880.
- Marcotte, D. E. (2015). Allergy test: Seasonal allergens and performance in school. *Journal of health economics*, 40, 132-140.
- Mena-Carrasco, M., Oliva, E., Saide, P., Spak, S. N., de la Maza, C., Osses, M., Tolvette, S., Campbell, E., Chi-Chung, T., & Molina, L. T. (2012). Estimating the health benefits from natural gas use in transport and heating in Santiago, Chile. *Science of the Total Environment*, 429(1), 257-265.
- Mendell, M. J., & Heath, G. A. (2005). Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. *Indoor air*, 15(1), 27-52.
- Mohai, P., Kweon, B. S., Lee, S., & Ard, K. (2011). Air pollution around schools is linked to poorer student health and academic performance. *Health Affairs*, 30(5), 852-862.
- Pastor, M., Morello-Frosch, R., & Sadd, J. L. (2006). Breathless: Schools, air toxics, and environmental justice in California. *Policy Studies Journal*, 34(3), 337-362.
- Ransom, M. R., & Pope, C. A. (1992). Elementary school absences and PM 10 pollution in Utah Valley. *Environmental research*, 58(1), 204-219.
- Schwartz, J. (2004). Air pollution and children's health. *Pediatrics*, 113(3), 1037-1043.
- Thongplang, J. (2015, September 30). International air quality standards: how do they compare? *Aeroqual*. Obtenido de <https://www.aeroqual.com/air-quality-standards>
- Valenzuela, J. P., Bellei, C., & De Los Ríos, D. (2010). Segregación escolar en Chile. Fin de ciclo, 209-229.
- Organización Mundial de la Salud (2016, septiembre). Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. Obtenido de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>

- Yorke, H. (2017, March 6). Pollution is now a greater threat than Ebola and HIV, the World Health Organisation warns. *The Telegraph* Obtenido de <http://www.telegraph.co.uk/news/2017/03/06/pollution-now-greater-threat-ebola-hiv-world-health-organisation/>
- Georeferenciación de Escuelas y Liceos. (2011). *Subsecretaría de Educación*. Obtenido de <http://datos.gob.cl/dataset/448>
- Ley 20.845 de “Inclusión Escolar que regula la admisión de los y las estudiantes, elimina el financiamiento compartido y prohíbe el lucro en establecimientos educacionales que reciben aportes del Estado”, *Diario Oficial de la República de Chile*. Mayo 2015. Obtenido de <https://leyinclusion.mineduc.cl/>
- Encuesta Casen 2015 (2017, Marzo 7). *Ministerio del Desarrollo Social*, 44-52. Obtenido de http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/casen-multidimensional/casen/docs/CASEN_2015_Resultados_equidad_genero.pdf
- Ozone Pollution (s.f.) *United States Environmental Protection Agency*. Obtenido de <https://www.epa.gov/ozone-pollution>
- Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (2017). *Ministerio de Medio Ambiente*. Obtenido de <http://www.mma.gob.cl/retc/1279/article-43796.html>
- Calidad del aire ambiente (exterior) y salud (2016, September). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>
- Subsecretario del Medio Ambiente explica los impuestos verdes que contempla la Reforma Tributaria (2017). *Ministerio del Medio Ambiente*. Obtenido de: <http://www.mma.gob.cl/1304/w3-article-56235.html>
- Vargas, H. (2017, Noviembre 13). Generación eléctrica renovable ya supera el 20% de la matriz. *Economía y Negocios El Mercurio*. Obtenido de: <http://www.elmercurio.com/Inversiones/Noticias/Acciones/2017/11/13/Generacion-electrica-renovable-ya-supera-el-20-de-la-matriz.aspx>
- Ley 20.899 Art. 8 N° 1 a) Reforma tributaria que modifica el sistema de tributación de la renta e introduce diversos ajustes en el sistema tributario, Febrero 2016. Obtenido de: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1067194>
- ¿Qué actividades son las que más contaminan el aire de Santiago? (2017), Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes, *Ministerio de Medio Ambiente*. Obtenido de: <http://www.mma.gob.cl/retc/1279/w3-article-56987.html>
- Ambient (outdoor) air quality and health. (2016, Septiembre). *World Health Organization*. Obtenido de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>
- Giorgianni, F. (2017, Marzo 30). 50 sombras de verde. El ascenso de los bonos verdes. *Comité Chileno del Consejo Mundial de la Energía*. Obtenido de <http://wec-chile.cl/50-sombras-de-verde-el-ascenso-de-los-bonos-verdes/>
- Fajardo, D. (2017, Julio 26). Las oportunidades para Chile de liderar la emisión de bonos verdes. *Pulso*. Obtenido de: <http://www.pulso.cl/hub-sostenibilidad/las-oportunidades-chile-liderar-la-emision-bonos-verdes/>
- Espinoza, M. (2017, Septiembre 2). Calidad del aire: santiago registra disminución histórica de contaminación. *Diario La Nación*. Obtenido de: <http://lanacion.cl/2017/09/02/calidad-del-aire-santiago-registra-disminucion-historica-de-contaminacion/>
- Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change (1992). *Naciones Unidas*. Obtenido de: http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php

A. Anexos

A.1. Datos

- Tablas de inicio y término de datos recolectados de contaminación para las 11 estaciones de monitoreo.

Estaciones	Cerrillos		Cerro Navia		El Bosque	
	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin
CO	17-05-1997	21-09-2016	24-03-2001	22-09-2016	05-04-1997	27-10-2016
NOX	01-01-2000	21-09-2016	21-03-2009	27-09-2016	24-03-2009	24-05-2016
O3	02-04-1997	21-09-2016	01-04-2001	27-09-2016	02-04-1997	27-09-2016
MP 10	03-04-1997	21-09-2016	27-03-2001	27-09-2016	05-04-1997	27-09-2016
MP2,5	07-05-2008	21-09-2016	10-05-2008	27-09-2016	01-05-2008	27-09-2016

Estaciones	Independencia		Las Condes		La Florida	
	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin
CO	05-04-1997	27-10-2016	05-04-1997	29-10-2016	07-04-1997	27-10-2016
NOX	26-03-2009	21-09-2016	01-01-2000	15-08-2016	08-04-2009	27-09-2016
O3	02-04-1997	14-09-2016	02-04-1997	29-09-2016	16-04-1997	13-09-2016
MP 10	02-04-1997	27-09-2016	24-04-1997	29-09-2016	28-05-1997	27-09-2016
MP2,5	09-05-2008	27-09-2016	01-01-2000	29-09-2016	01-01-2000	27-09-2016

Estaciones	Puente Alto		Pudahuel		Quilicura	
	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin
CO	25-01-2009	03-10-2016	10-04-1997	29-09-2016	23-01-2009	19-05-2016
NOX	25-01-2009	03-10-2016	01-01-2000	29-09-2016	25-01-2009	19-05-2016
O3	23-01-2009	03-10-2016	01-06-1997	29-09-2016	23-01-2009	30-06-2016
MP 10	21-05-2008	03-10-2016	04-04-1997	29-09-2016	19-05-2008	23-05-2016
MP2,5	21-05-2008	03-10-2016	01-01-2000	29-09-2016	19-05-2008	19-05-2016

Estaciones	Santiago Centro		Talagante	
	Inicio	Fin	Inicio	Fin
CO	08-04-1997	23-07-2016	25-01-2009	05-10-2016
NOX	26-03-2009	06-10-2016	28-02-2009	02-03-2016
O3	02-04-1997	06-10-2016	25-01-2009	06-10-2016
MP 10	02-04-1997	06-10-2016	26-05-2008	06-10-2016
MP2,5	01-01-2000	06-10-2016	26-05-2008	06-10-2016

A.2 Regresiones exploratorias

Tabla de regresión de modelo 3 de regresiones exploratorias

Lenguaje	Todas	10km	Más cercana	Más cercana direct
CO	-0.0006077 (0.004193)	-0.0072489* (0.0040064)	-0.0188515*** (0.0030007)	-.0360021*** (0.0033028)
ISE	0.0102069** (0.004205)	0.0106477** (0.0042057)	0.0097329** (0.0041931)	0.008758** (0.004193)
Tipo Mun	-0.9779925*** (0.0120179)	-0.9739594*** (0.012151)	-0.9746688*** (0.0119282)	-0.9732774*** (0.0119224)
Tipo part subv	-0.5823133*** (0.0100994)	-0.5790637*** (0.0102495)	-0.5788926*** (0.0100869)	-0.5772774*** (0.0100964)
NOX	0.0171934*** (0.0047938)	0.0151608*** (0.0045237)	-0.0161733*** (0.0037339)	-0.0273471*** (0.0038208)
ISE	0.0084327** (0.0042363)	0.0089091** (0.0042307)	0.011509*** (0.0042068)	0.0121751*** (0.0041996)
Tipo Mun	-0.9826243*** (0.0119849)	-0.9843175*** (0.012059)	-0.9753906*** (0.0119409)	-0.9738787*** (0.0119339)
Tipo part subv	-0.5843769*** (0.010087)	-0.5859056*** (0.0101535)	-0.5803297*** (0.0100951)	-0.5789096*** (0.0100907)
O3	0.0056297 (0.0046438)	-0.0018473 (0.004395)	-0.0271355*** (0.0035785)	-0.0438694*** (0.0036778)
ISE	0.0097032** (0.0042161)	0.0103139** (0.0042134)	0.0104422** (0.0041921)	0.0085538** (0.0041922)
Tipo Mun	-0.9809628*** (0.0121406)	-0.9768095*** (0.0123928)	-0.9619336*** (0.0120973)	-0.9517958*** (0.0120869)
Tipo part subv	-0.5841664*** (0.0101851)	-0.5812637*** (0.0104536)	-0.5646239*** (0.0103369)	-0.5506294*** (0.0104093)
PM10	0.013579*** (0.0047452)	0.0029919 (0.0045433)	-0.0160157*** (0.0035441)	-0.030172*** (0.0037085)
ISE	0.0089401** (0.0042201)	0.0099186** (0.0042159)	0.010823** (0.0041948)	0.010735** (0.0041916)
Tipo Mun	-0.9834407*** (0.0120626)	-0.9801371*** (0.0122795)	-0.9712632*** (0.0120105)	-0.9650588*** (0.012005)
Tipo part subv	-0.58547*** (0.0101383)	-0.5839671*** (0.0103602)	-0.5739137*** (0.0102513)	-0.5650131*** (0.0102932)
PM2.5	0.0144059*** (0.0048077)	0.0081634* (0.0046206)	-0.0146107*** (0.0036646)	-0.0195676*** (0.0035612)
ISE	0.0086702** (0.0042287)	0.0093417** (0.0042265)	0.0112847*** (0.004201)	0.0111601*** (0.0041946)
Tipo Mun	-0.9829536*** (0.0120263)	-0.9825434*** (0.0121738)	-0.9737042*** (0.0119653)	-0.9724913*** (0.0119511)
Tipo part subv	-0.5847781*** (0.0101116)	-0.5857325*** (0.0102589)	-0.5770033*** (0.010168)	-0.5741919*** (0.0101809)

Nota: ***p<0.01, **p<0.05, *p<0.1

Tabla

Modelo 4 en regresiones exploratorias

Lenguaje	Todas	10km	Más cercana	Más cercana direct
CO	-0.0373869*** (0.0043216)	-0.0559594*** (0.0041064)	-0.027147*** (0.0031351)	-0.0343148*** (0.003349)
Libros	0.000768 (0.0014285)	0.0007108 (0.0014225)	0.0007814 (0.0014316)	0.0007667 (0.0014196)
Ingresos	0.0126491*** (0.0016192)	0.0127735*** (0.0016179)	0.0123244*** (0.0016195)	0.0122768*** (0.0016196)
Estudio padre	-0.0037256** (0.0015936)	-0.0035587** (0.0015923)	-0.0040224** (0.0015926)	-0.0041606*** (0.0015919)
Estudio madre	-0.0057961*** (0.0016015)	-0.0056345*** (0.0015998)	-0.0060447*** (0.001601)	-0.0062374*** (0.0016003)
NOX	-0.0173479*** (0.0049368)	-0.0310251*** (0.0046324)	-0.0301903*** (0.0039028)	-0.0316826*** (0.0039648)
Libros	0.0007079 (0.0014216)	0.0007084 (0.0014219)	0.000737 (0.0014314)	0.0007187 (0.0014297)
Ingresos	0.0126632*** (0.0016227)	0.0129838*** (0.001622)	0.0127108*** (0.0016207)	0.0127049*** (0.0016218)
Estudio padre	-0.0038372** (0.0015966)	-0.0036755** (0.001596)	-0.003746** (0.0015944)	-0.0038135** (0.001595)
Estudio madre	-0.0057482*** (0.0016032)	-0.0057762*** (0.0016036)	-0.0057649*** (0.0016018)	-0.0058519*** (0.0016017)
O3	-0.0527619*** (0.0047302)	-0.0764533*** (0.0043766)	-0.0637017*** (0.0036686)	-0.0879283*** (0.0038364)
Libros	0.0007567 (0.0014272)	0.0006953 (0.0014211)	0.000791 (0.0014438)	0.0006871 (0.0014269)
Ingresos	0.0128276*** (0.001619)	0.0129048*** (0.0016166)	0.0120018*** (0.0016173)	0.0113706*** (0.0016153)
Estudio padre	-0.0034886** (0.0015932)	-0.0032681** (0.0015907)	-0.0036223** (0.0015902)	-0.003972** (0.0015873)
Estudio madre	-0.0056032*** (0.0016012)	-0.0053301*** (0.0015986)	-0.005687*** (0.0015977)	-0.0059961*** (0.0015947)
PM10	-0.0360305*** (0.0048579)	-0.0663723*** (0.0045701)	-0.0425901*** (0.0036408)	-0.0564196*** (0.0037724)
Libros	0.0016018 (0.0014244)	0.0006816 (0.0014225)	0.0007205 (0.0014345)	0.0006358 (0.00143)
Ingresos	0.0127876*** (0.0016199)	0.0129789*** (0.0016174)	0.0123518*** (0.0016187)	0.012102*** (0.0016175)
Estudio padre	-0.0036519** (0.0015944)	-0.0033819** (0.0015922)	-0.0036448** (0.0015928)	-0.0037236** (0.0015911)
Estudio madre	-0.0057254** (0.0016018)	-0.0054489*** (0.0016)	-0.0057109*** (0.0016)	-0.0057531*** (0.0015985)
PM2.5	-0.0304186*** (0.0049341)	-0.0534165*** (0.0046915)	-0.0356532*** (0.0037854)	-0.0376841*** (0.0036514)
Libros	0.000712 (0.0014231)	0.0006906 (0.0014224)	0.0007034 (0.0014298)	0.00067 (0.0014272)
Ingresos	0.012835*** (0.0016207)	0.0131291*** (0.0016192)	0.0126808*** (0.0016194)	0.0127138*** (0.0016191)
Estudio padre	-0.0037067*** (0.0015946)	-0.0035213** (0.0015932)	-0.0037143** (0.0015935)	-0.0038605** (0.0015927)
Estudio madre	-0.0057459*** (0.0016019)	-0.0055177*** (0.001601)	-0.0056865*** (0.0016002)	-0.0058717*** (0.0015999)

***p<0.01, **p<0.05, *p<0.1

Asignatura de lenguaje, con promedio de contaminación del día de aplicación.

Regresión de corte transversal año 2007.

Modelo 3

A.3 Regresiones de panel

Modelo 2. A

PM10	1	2	3	7	14	28
Todas	-0.003 [0.003]	-0.003 [0.003]	-0.003 [0.003]	-0.004 [0.004]	-0.005 [0.004]	-0.004 [0.004]
Más cercana	0 [0.000]	0 [0.000]	0 [0.000]	0 [0.001]	0 [0.001]	0 [0.001]
PM2.5	1	2	3	7	14	28
Todas	0.001 [0.007]	0 [0.007]	0.001 [0.007]	0.002 [0.008]	-0.001 [0.009]	-0.002 [0.009]
Más cercana	0.001 [0.001]	0 [0.001]	0 [0.001]	0 [0.001]	-0.001 [0.001]	-0.001 [0.001]
O3	1	2	3	7	14	28
Todas	0.008 [0.009]	0.004 [0.010]	0.006 [0.010]	0.013 [0.011]	0.018 [0.013]	0.021 [0.014]
Más cercana	-0.001 [0.001]	-0.001 [0.001]	0 [0.001]	0 [0.001]	0 [0.002]	0 [0.002]
SO2	1	2	3	7	14	28
Todas	0.003 [0.023]	0.001 [0.017]	-0.001 [0.019]	0.009 [0.018]	0.027* [0.016]	0.027 [0.019]
Más cercana	-0.002 [0.003]	-0.002 [0.002]	-0.002 [0.002]	-0.001 [0.002]	0.002 [0.002]	0.003 [0.003]
CO	1	2	3	7	14	28
Todas	-0.246** [0.099]	-0.285*** [0.105]	-0.231** [0.101]	-0.218** [0.104]	-0.206* [0.116]	-0.16 [0.129]
Más cercana	-0.041*** [0.012]	-0.047*** [0.014]	-0.041*** [0.014]	-0.040*** [0.014]	-0.038*** [0.014]	-0.033** [0.015]
NO	1	2	3	7	14	28
Todas	-0.012*** [0.004]	-0.011** [0.005]	-0.011** [0.006]	-0.016*** [0.006]	-0.010** [0.004]	-0.014*** [0.005]
Más cercana	-0.001* [0.001]	-0.001 [0.001]	-0.001 [0.001]	-0.001 [0.001]	-0.001 [0.001]	-0.001 [0.001]
NO2	1	2	3	7	14	28
Todas	-0.014*** [0.004]	-0.011** [0.005]	-0.011** [0.005]	-0.014** [0.006]	-0.014** [0.006]	-0.009 [0.006]
Más cercana	-0.002*** [0.001]	-0.002** [0.001]	-0.002** [0.001]	-0.002** [0.001]	-0.002*** [0.001]	-0.001 [0.001]
NOx	1	2	3	7	14	28
Todas	-0.011*** [0.002]	-0.012*** [0.003]	-0.012*** [0.004]	-0.015*** [0.004]	-0.012*** [0.004]	-0.010** [0.004]
Más cercana	-0.001*** [0.000]	-0.002*** [0.001]	-0.001*** [0.001]	-0.002*** [0.001]	-0.001*** [0.000]	-0.001* [0.001]

Modelo 2. B

PM10	1	2	3	7	14	28
Todas	-0.002 [0.002]	-0.002 [0.003]	-0.003 [0.003]	-0.004 [0.004]	-0.006 [0.004]	-0.004 [0.004]
Más cercana	0 [0.000]	0 [0.000]	0 [0.000]	0 [0.000]	0 [0.001]	0 [0.001]
PM2.5	1	2	3	7	14	28
Todas	0.002 [0.007]	-0.001 [0.007]	0.001 [0.007]	0 [0.008]	-0.002 [0.009]	-0.002 [0.010]
Más cercana	0.001 [0.001]	0 [0.001]	0 [0.001]	0 [0.001]	-0.001 [0.001]	-0.001 [0.001]
O3	1	2	3	7	14	28
Todas	0.005 [0.010]	-0.001 [0.011]	0 [0.010]	0.005 [0.011]	0.008 [0.013]	0.009 [0.014]
Más cercana	-0.001 [0.001]	-0.001 [0.001]	-0.001 [0.001]	-0.001 [0.002]	0 [0.002]	-0.001 [0.002]
SO2	1	2	3	7	14	28
Todas	-0.01 [0.023]	-0.006 [0.018]	-0.005 [0.019]	0.002 [0.019]	0.011 [0.016]	0.011 [0.020]
Más cercana	-0.001 [0.003]	-0.002 [0.002]	-0.002 [0.002]	0 [0.002]	0.002 [0.002]	0.003 [0.003]
CO	1	2	3	7	14	28
Todas	-0.249** [0.103]	-0.281*** [0.108]	-0.231** [0.103]	-0.229** [0.106]	-0.232* [0.120]	-0.214 [0.132]
Más cercana	-0.042*** [0.013]	-0.047*** [0.014]	-0.042*** [0.014]	-0.041*** [0.014]	-0.042*** [0.015]	-0.042*** [0.016]
NO	1	2	3	7	14	28
Todas	-0.016*** [0.004]	-0.015*** [0.005]	-0.014** [0.006]	-0.019*** [0.006]	-0.011** [0.005]	-0.013** [0.006]
Más cercana	-0.002*** [0.001]	-0.002** [0.001]	-0.002** [0.001]	-0.002** [0.001]	-0.001* [0.001]	-0.001* [0.001]
NO2	1	2	3	7	14	28
Todas	-0.014*** [0.005]	-0.012** [0.005]	-0.013** [0.005]	-0.017*** [0.006]	-0.018*** [0.006]	-0.01 [0.007]
Más cercana	-0.002*** [0.001]	-0.002** [0.001]	-0.002** [0.001]	-0.003*** [0.001]	-0.003*** [0.001]	-0.001 [0.001]
NOx	1	2	3	7	14	28
Todas	-0.012*** [0.003]	-0.013*** [0.003]	-0.013*** [0.004]	-0.017*** [0.004]	-0.013*** [0.004]	-0.010** [0.004]
Más cercana	-0.002*** [0.000]	-0.002*** [0.001]	-0.002*** [0.001]	-0.002*** [0.001]	-0.002*** [0.000]	-0.001** [0.001]

A.4 Anexo código STATA