



## **“Contaminación Atmosférica y Hospitalizaciones”**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE  
MAGÍSTER EN ANÁLISIS ECONÓMICO**

**Alumno: Pablo Romer Escobar Torrez  
Profesor Guía: Damian Clarke**

**Santiago, Enero 2023**

# Contaminación Atmosférica y Hospitalizaciones\*

Pablo Escobar Torrez  
[pescobart@fen.uchile.cl](mailto:pescobart@fen.uchile.cl)

Enero 20, 2023

## Resumen

Vinculo la exposición de corto plazo de la contaminación del aire con la tasa de hospitalizaciones respiratorias infantiles en la ciudad de Santiago dentro del periodo 2013 a 2019. Para identificar el efecto causal de la exposición de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  y CO, utilizo como fuente de variación exógena el fenómeno atmosférico de *inversión térmica* para instrumentar por los contaminantes. Encuentro una relación lineal entre la exposición de los contaminantes y la tasa de hospitalizaciones, además de un efecto estacional relevante para  $PM_{2.5}$ . Estos resultados son impulsados por los infantes de edad 0-4 años de hogares con menor nivel socioeconómico del sector sur oriente. De manera complementaria, los resultados son robustos a distintas especificaciones y pruebas de placebo. Argumento que reducir el nivel promedio de la contaminación en un 25% conduce a un aumento considerable en el bienestar social, debido a una reducción en la tasa de hospitalizaciones infantiles, que se traduce en un beneficio económico de USD 1.4 millones al año.

**Palabras Clave:** Contaminación Atmosférica, Salud, Variables Instrumentales

**Códigos JEL:** I12, I18, Q51, Q53.

---

\*Tesis escrita como estudiante de Maestría, Departamento de Economía, Universidad de Chile. Me gustaría agradecer a mi asesor de tesis, Damian Clarke, por su guía y comentarios continuos. También estoy en deuda y muy agradecido con mi familia, especialmente con mi esposa Ma. Angélica y mis padres Walter y Teresa. Para comentarios, sugerencias por favor envíe un correo electrónico a: [pescobart@fen.uchile.cl](mailto:pescobart@fen.uchile.cl)

## Abstract

I link short-term air pollution exposure to the rate of childhood respiratory hospitalizations in the city of Santiago within the period 2013 to 2019. To identify the causal effect of  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  and CO exposure, I use the atmospheric phenomenon of *thermal inversion* as a source of exogenous variation to instrument pollutants. I find a linear relationship between pollutant exposure and hospitalization rate, as well as a relevant seasonal effect for  $PM_{2.5}$ . These results are driven by infants aged 0-4 years from households with a lower socioeconomic level in the southeast sector of the city. In a complementary way, the results are robust to different specifications, robustness tests and placebo test. I argue that reducing the average level of pollution by 25% would lead to a considerable increase in social welfare, due to a reduction in the rate of childhood hospitalizations, which translates into an economic benefit of USD 1.4 million per year.

## Highlights

- Encuentro una relación causal lineal positiva entre contaminación en el aire y la tasa de hospitalización respiratoria.
- Para el contaminante  $PM_{2.5}$  encuentro efectos estacionales diferentes, entre verano e invierno.
- El grupo más afectado por la contaminación en el aire es el grupo de varones de 0-4 años, con residencia en el sector sur-oriente y con seguro FONASA.
- Las estimaciones son robustas a pruebas de placebo, utilizando enfermedades no asociadas a la contaminación en el aire.
- Estimo los costos directos de la contaminación sobre la tasa de hospitalización respiratoria infantil en USD 1.4 millones al año.

# Contenidos

<b>1. Introducción</b>	<b>5</b>
<b>2. Contaminación Atmosférica, Salud y Hospitalizaciones</b>	<b>8</b>
2.1. Mecanismo de acción . . . . .	8
2.2. Marco Conceptual . . . . .	9
2.3. Revisión de Literatura . . . . .	10
<b>3. Datos y Estadística Descriptiva</b>	<b>11</b>
3.1. Contaminación atmosférica . . . . .	11
3.2. Controles Meteorológicos . . . . .	12
3.3. Inversiones Térmicas . . . . .	12
3.4. Hospitalizaciones . . . . .	13
3.5. Estadística Descriptiva . . . . .	13
<b>4. Estrategia Empírica</b>	<b>18</b>
4.1. Especificación Básica . . . . .	18
4.2. MCO . . . . .	19
<b>5. Variables Instrumentales</b>	<b>21</b>
5.1. Inversiones térmicas como fuente de variación exógena a la Contaminación Atmosférica . . . . .	21
5.2. IV . . . . .	24
5.3. Estacionalidad . . . . .	26
5.4. Efectos No Lineales . . . . .	28
<b>6. Explorando Canales y Pruebas de Robustez</b>	<b>29</b>
6.1. Pruebas de Especificación . . . . .	29
6.2. Efectos Heterogéneos . . . . .	30
6.2.1. Edad . . . . .	30

6.2.2. Área . . . . .	31
6.2.3. Previsión . . . . .	31
6.2.4. Género . . . . .	32
6.3. Prueba de Placebo . . . . .	34
6.4. Costo Económico . . . . .	34
<b>7. Conclusiones</b>	<b>36</b>
<b>A. Datos Apéndice</b>	<b>42</b>
<b>B. Figuras Apéndice</b>	<b>46</b>
<b>C. Tablas Apéndice</b>	<b>55</b>

# 1. Introducción

En la actualidad los habitantes de Santiago de Chile, están expuestos a altos niveles de contaminación del aire que se encuentran por encima de las normas internacionales y nacionales recomendadas de calidad del aire (WHO, 2021). Santiago de Chile frecuentemente enfrenta condiciones meteorológicas que causan una capa de inversión térmica<sup>1</sup> en un altura de alrededor de 600-1000 m.s.n.m. La ciudad está en medio de un valle a una altura media de 570 m.s.n.m y está rodeado por dos cadenas montañosas: la cordillera de los andes y la cordillera de la costa. Estas condiciones geográficas restringen la ventilación y la dispersión de los contaminantes del aire dentro del valle. Esta característica geográfica junto con la baja precipitación y las altas emisiones de contaminantes explican en gran medida de por qué Santiago, experimenta altos niveles de contaminación atmosférica.

La contaminación en el aire no solo es relevante para la salud pública, sino además por la influencia en la acumulación de capital humano, oferta de trabajo, productividad y desarrollo cognitivo (Graff Zivin and Neidell, 2012). La evidencia sobre este tema sugiere que la contaminación por sí misma tiene una amplia gama de efectos en el bienestar individual, incluso a niveles inferiores a las guías recomendadas de calidad del aire. Dada la importancia de la salud y el capital humano como motor del crecimiento económico, el vínculo de la contaminación sobre la salud de los infantes subraya el papel de las condiciones ambientales como un factor importante en la producción (Graff Zivin, 2013). Por ejemplo para Chile, Bharadwaj et al. (2017) evalúan el impacto de la contaminación en el aire sobre la formación de capital humano, encontrando un fuerte efecto negativo de la exposición fetal al monóxido de carbono (CO) en las calificaciones escolares que miden habilidades en matemáticas y en lenguaje.

Dada su relevancia, el trabajo previo tiene su origen en la literatura epidemiológica (Milanzi et al., 2018; Franck et al., 2014; O'Neill et al., 2004; Ostro et al., 1999). Este se ha centrado en estimar los efectos de la contaminación en el aire para distintas medidas de salud humana, utilizando principalmente datos de corte transversal, series de tiempo y experimentos toxicológicos en laboratorio, sin embargo estas metodologías presentan el problema fundamental de sesgo de variables omitidas<sup>2</sup>. Además, la exposición a la contaminación atmosférica es endógena (Graff Zivin, 2013), los individuos pueden evitar realizar ciertas actividades que los exponga a un nivel elevado de contaminación (*Avoidance behavior*) o inclusive incorporar los niveles de contaminación en su función de elección de vivienda (*Residential sorting*) (Chay and Greenstone, 2003a).

Es por estas razones, que el presente trabajo busca aportar nueva evidencia sobre la exposición a niveles de contaminación sobre la salud de las personas, estimando el impacto de la exposición a la contaminación del aire sobre la tasa de hospitalizaciones respiratorias infantiles para enfermedades de neumonía, bronquitis, bronquiolitis y asma (NBBA). Estas enfermedades fueron seleccionadas basadas en la literatura médica (Dherani et al., 2008; Kurmi et al., 2010; Karr et al., 2009; Guarnieri and Balmes, 2014) que es bastante extensa en el vínculo de estas enfermedades respiratorias y la contaminación del aire.

---

<sup>1</sup>En la sección 5.1 se realiza una explicación detallada del fenómeno meteorológico de inversión térmica y de porque sería un buen instrumento para la contaminación del aire, pero básicamente consiste en una inversión del comportamiento normal de la temperatura, dentro de la troposfera.

<sup>2</sup>Es en este aspecto donde los economistas han aportado a la literatura epidemiológica-medio ambiental, estos han diseñado ingeniosos mecanismos de identificación, para poder encontrar efectos causales, la literatura de esta naturaleza se remonta al trabajo de Chay and Greenstone (2003b) y a ido creciendo, pero todavía es muy escasa, particularmente para países en desarrollo, es por tal motivo que se realizará una revisión extensiva de esta literatura en la sección 2.3

En primera instancia utilizo un enfoque de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) para estimar el efecto de la exposición a la contaminación del aire en la tasa de hospitalizaciones respiratorias NBBA, esto para demostrar que el uso de esta metodología eleva el problema de la endogeneidad. Una estimación de MCO puede estar severamente sesgada a la baja, por el error clásico de medición (Cameron and Trivedi, 2005), también por el hecho de que las estaciones de monitoreo que miden la contaminación están relativamente esparcidas y agregadas de manera semanal. Los resultados encontrados demuestran esta suposición inicial. La estimación de MCO versus su contraparte de variables instrumentales (IV) es en promedio menor, específicamente 52%, 45%, 19% menor, para material particulado ( $PM_{10}$ )<sup>3</sup>, material particulado ( $PM_{2.5}$ ) y monóxido de carbono (CO) respectivamente, indicando que la estimación de MCO estaría severamente sesgada, subestimando los resultados.

Para subsanar los problemas de la estimación de MCO, identifiqué el efecto causal de contaminación en el aire sobre la tasa de hospitalización NBBA, explotando el grado de estabilidad atmosférica, medido a través del número de inversiones térmicas<sup>4</sup> que suceden en una semana, como fuente de variación exógena de la calidad del aire. Represento la contaminación a través de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  y CO. Identificar el efecto causal es posible a través del uso de inversiones térmicas, siempre y cuando este no viole el criterio de exclusión y no covaríe con variables no observadas que a su vez están correlacionadas con nuestra variable dependiente. Este fenómeno meteorológico consiste en una inversión del comportamiento normal de la temperatura, dentro de la troposfera (Jacobson, 2002). A pesar de que Santiago no cuenta con una estación que mida la temperatura del aire a diferentes altitudes, aprovecho la ubicación de dos estaciones de monitoreo que se encuentran en distinta elevación, basado en el trabajo de Casasepère (2017).

A continuación sigo una estrategia de identificación de variables instrumentales (IV), en donde estimo los cambios exógenos en la exposición a la contaminación acumulados de manera semanal sobre la tasa de hospitalizaciones. Para hacerlo, construyo medidas de contaminación para material particulado  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ , CO<sup>5</sup>, y ozono ( $O_3$ ) en una ventana móvil de 24 horas de contaminación y tasas de hospitalización respiratorias infantiles NBBA por 100,000 infantes, para Santiago entre 2013 y 2019. Usando esta base de datos longitudinales, proporciono evidencia sólida de que un aumento de la contaminación del aire en 1% tiene un efecto positivo de 1.56%, 0.95% y 0.87% en la tasa de hospitalizaciones respiratorias infantiles NBBA, para el caso de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ , CO respectivamente. Los resultados de las estimaciones de variables instrumentales (IV) son significativamente mayores que nuestras estimaciones de efectos fijos, lo que comprueba de manera parcial el potencial sesgo sustancial en los estudios que no contemplan la endogeneidad de la exposición a la contaminación.

La estimación IV es robusta para la instrumentación de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  y CO, pero no para  $O_3$ , el motivo de este último resultado se basa en que las inversiones térmicas pueden interferir en la formación de  $O_3$ , dado que las reacciones químicas que resultan en  $O_3$  requieren de luz solar y calor. Adicionalmente las capas gruesas de contaminación asociadas con inversiones térmicas pueden interferir con la formación de  $O_3$  (Arceo et al., 2016). Por último y no menos importante, este contaminante no pasa la prueba de instrumentos débiles

---

<sup>3</sup>Medida de calidad del aire ambiental para la contaminación por partículas, también denominada material particulado (PM).  $PM_{10}$  describe partículas inhalables, con diámetros que generalmente son de 10 micrómetros y más pequeños (1 micrómetro corresponde la milésima parte de 1 milímetro).

<sup>4</sup>Una inversión ocurre cuando una masa de aire caliente queda atrapada sobre una masa de aire frío, atrapando contaminantes en la troposfera.

<sup>5</sup>Presento los resultados para CO en una ventana de 8 horas, esto porque es una medida muy utilizada en la literatura, sin embargo los resultados se mantienen si se utiliza una ventana de 24 horas.

(Stock and Yogo, 2002).

El principal hallazgo de la presente investigación, encuentra que un aumento de 19 microgramos por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (un 25% alrededor de la media de  $\text{PM}_{10}$ ) en la exposición a  $\text{PM}_{10}$  durante un año lleva a 2,136 hospitalizaciones adicionales por cada 100,000 niños/as entre 0-18 años, mientras que los efectos para los infantes de 0 años es aún mayor, siendo que el impacto en la misma cuantía de contaminación eleva a 21,301 hospitalizaciones<sup>6</sup>. Con estos resultados estimo que el beneficio económico asociado de disminuir el nivel promedio de  $\text{PM}_{10}$  en un 25% alcanza USD 1.4 millones por año.

Como resultados secundarios encuentro que la estacionalidad no representa un problema en las estimaciones de IV. El efecto de la contaminación en el aire es similar entre las estaciones de invierno/verano, con excepción de  $\text{PM}_{2.5}$ . Los resultados encontrados soportan la idea que no existe efectos no lineales significativos de la contaminación en el aire sobre la tasa de hospitalización NBBA. Encuentro que en todas los casos, las estimaciones puntuales que superan un cierto umbral de nivel de contaminación son mayores que los niveles inferiores y estos son significativos, sin embargo todos los test de diferencias de medias indican que no podemos rechazar la hipótesis nula, que los coeficientes son iguales.

De manera adicional y para evaluar si el efecto de la contaminación varía entre los diferentes segmentos de la población de estudio, analizo en primera instancia el impacto entre distintos cortes etarios y de género en la población pediátrica, distinguiendo entre conglomerado geográfico. Por otro lado permito que el efecto de la contaminación difiera con el estatus socio económico<sup>7</sup> (Jans et al., 2018), medido por la pertenencia al sistema de salud de seguros privados (ISAPRE)<sup>8</sup> o públicos (FONASA)<sup>9</sup>. De manera complementaria utilizo enfermedades respiratorias y digestivas (Sheldon and Sankaran, 2017) no asociadas a la contaminación atmosférica como pruebas de placebo para agregar robustez a los resultados encontrados.

La presente investigación hace un esfuerzo para realizar un aporte en materia de los efectos de corto plazo de la contaminación sobre la salud humana para el contexto chileno, considerando el problema de la endogeneidad de la contaminación en el aire. Utilizo un instrumento relativamente novedoso para tratar de encontrar efectos causales, además realizo un análisis extensivo para evaluar efectos heterogéneos, estacionalidad, no linealidades, aspectos socio-económicos, complementando con una estimación preliminar del impacto económico asociado al mismo.

---

<sup>6</sup>Resultados similares se encuentran para los contaminantes  $\text{PM}_{2.5}$  y CO, para el primero el impacto de un aumento del 25% de la media del contaminante asciende a 1,423 hospitalizaciones para 0-18 años y 13,141 para 0 años, mientras que para CO el impacto se eleva a 1,220 hospitalizaciones entre 0-18 años y de 12,138 para 0 años.

<sup>7</sup>Utilizo los datos de pertenencia a una aseguradora privada (ISAPRE) o pública (FONASA), como proxy del estatus socioeconómico, esto porque en Chile, el servicio de seguro de salud (FONASA) agrupa a sus beneficiarios según su ingreso en los Tramos A, B, C y D. Esto es fijado cada año según las variaciones del ingreso mínimo. Ver Tabla A1 en el Anexo.

<sup>8</sup>Las Isapres son aseguradoras privadas cuya principal función es financiar y administrar las prestaciones y beneficios de salud de aquellas personas que cotizan obligatoriamente el 7% de sus ingresos mensuales para la salud. Fueron creadas en el año 1981 en virtud de la dictación del DFL N°3 del Ministerio de Salud.

<sup>9</sup>El Fondo Nacional de Salud, también conocido como FONASA, es la entidad financiera encargada de recaudar, administrar y distribuir los fondos estatales para la salud en Chile. Está financiado por el público (7% de los ingresos mensuales de los empleados). Fue creado en 1979 por Decreto Ley N° 2763.



El resto del documento está organizado de la siguiente manera. En la sección 2 se presentan antecedentes de contaminación del aire y la salud de las personas, junto con el mecanismo de acción, el marco conceptual de dicha relación y una breve revisión de la literatura. La sección 3 describe los datos y la estadística descriptiva. La sección 4 presenta la estrategia empírica básica y los resultados de referencia. La sección 5 presenta los resultados del uso de variables instrumentales, explorando caminos adicionales de estacionalidad y no linealidades. La sección 6 presenta comprobaciones de robustez, efectos heterogéneos, pruebas de placebo y considera el costo económico asociado a la contaminación en el aire. Finalmente, en la Sección 7 se presentan las conclusiones.

## 2. Contaminación Atmosférica, Salud y Hospitalizaciones

Las principales fuentes de contaminación en el aire se dividen en dos: antropogénicos (i.e que provienen de la actividad humana) y naturales (i.e incendios, erupciones, etc) (WHO, 2016). Este estudio se centra en ambas fuentes medido a través de dos gases: el monóxido de carbono (CO), ozono (O<sub>3</sub>) y dos partículas suspendidas (PM<sub>10</sub>) y (PM<sub>2.5</sub>). Pretendo documentar la relación causal entre la exposición de estos gases y partículas suspendidas sobre la tasa de hospitalizaciones NBBA. Los mecanismos de esta relación están documentadas en la investigación de la literatura médica, toxicológica y biológica (Brumberg et al., 2021), estas se manifiestan en múltiples formas potenciales de cómo la exposición de estos contaminantes pueden afectar a la salud de las personas.

### 2.1. Mecanismo de acción

El tamaño de las partículas determina en gran medida el lugar de depósito de las mismas dentro del aparato respiratorio del individuo. Por lo general las partículas más grandes quedan atrapadas en las vías respiratorias superiores, mientras que la fracción más pequeña de partículas puede llegar hasta las vías respiratorias inferiores e incluso ingresar al torrente sanguíneo y depositarse en los alvéolos (Pope III et al., 2015). Los efectos inflamatorios tras la exposición a PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, provocan una alteración en la fagocitosis alveolar por una disminución de la viabilidad de los macrófagos alveolares, lo que explica la mayor susceptibilidad a infecciones que presentan los sujetos expuestos a dichos contaminantes (Sandoval et al., 2019).

Los niños son más vulnerables a los efectos adversos de la contaminación del aire que los adultos (Kim et al., 2004). Ochenta por ciento de los alvéolos se forman después del nacimiento, y los cambios en los pulmones continúan a través de la adolescencia (Plopper and Fanucchi, 2000). Además, los niños tienen una mayor exposición a muchos contaminantes del aire en comparación con los adultos debido a una mayor ventilación por minuto<sup>10</sup> y por estar expuestos a niveles más altos de actividad física (Plunkett et al., 1992). Debido a que los niños pasan más tiempo al aire libre que los adultos, estos tienen una mayor exposición a la contaminación del aire exterior (Ubilla and Johannessen, 2017). Por otro lado, el CO interfiere de manera significativa en el transporte de oxígeno, que se ve reflejado en exacerbaciones del asma y una disminución de la función pulmonar.

---

<sup>10</sup>La ventilación por minuto (o volumen por minuto respiratorio o volumen por minuto) es el volumen de gas inhalado (volumen por minuto inhalado) o exhalado (volumen por minuto exhalado) de los pulmones de una persona por minuto.

## 2.2. Marco Conceptual

Antes de partir con el análisis empírico del problema, primero presento un análisis teórico simple y breve de la relación entre la contaminación y la salud de los individuos, basado en el modelo teórico de salud y ambiente de [Graff Zivin \(2013\)](#).

Entonces, el modelo de función de producción de la salud de un individuo  $H$ , puede ser expresado como una función de los niveles de contaminación del ambiente  $P$ , la exposición del individuo a esa contaminación, la cual puede ser mitigada por el comportamiento de evasión ([Chay and Greenstone, 2003b](#)) de los individuos  $A$ , el seguro de salud que funciona tanto como una medida del nivel socio económico del individuo, como una variable que alivia el impacto negativo sobre la salud a la exposición a la contaminación del aire  $M$ , y variables meteorológicas  $C$  como esta documentado en la literatura climatológica y de salud [Deschenes \(2014\)](#); [Dell et al. \(2014\)](#).

Es de esta manera que la función de producción de salud queda representada por las enfermedades respiratorias  $H$  inducidas por  $P$ ,  $A$ ,  $M$  y  $C$  en la ecuación 1.

$$H = f(P, A, M, C) \tag{1}$$

El comportamiento de evasión reduce la carga para la salud de las personas por una mayor contaminación, ya que las personas pueden adoptar comportamientos como la reducción del tiempo al aire libre ([Neidell, 2009](#)), utilizar mascarillas o inclusive el consumo de fármacos preventivos ([Deschenes et al., 2017](#)). Por otro lado, el seguro de salud funciona como un mecanismo de alivio a la carga de la contaminación atmosférica sobre la salud ([Jans et al., 2018](#)). Ambas variables tienen costos asociados, la renuncia de tiempo de actividades al aire libre puede ser interpretada como una desutilidad para los individuos, mientras que el costo del seguro involucra un costo económico.

La literatura ha identificado una serie de canales potenciales a través de los cuales la temperatura y la precipitación pueden tener efectos sobre la salud ([Deschenes and Moretti, 2009](#)). Uno es directo: las temperaturas o sequías extremas pueden afectar gravemente la salud ([Kudamatsu et al., 2012](#)), particularmente para aquellos con enfermedades respiratorias o cardiovasculares preexistentes ([Deschènes and Greenstone, 2011](#)). Por otro lado controlar por variables climatológicas es esencial como veremos en la estimación empírica, no solo por el mecanismo sobre las enfermedades respiratorias, sino principalmente por sobre la interacción con la contaminación en el aire. La precipitación, puede afectar la deposición de contaminantes, es decir la lluvia puede “limpiar” el aire y eliminar las toxinas del suelo, el viento puede mover la contaminación, la temperatura puede afectar la formación de contaminantes, al modificar el movimiento del aire y, por lo tanto, el movimiento de la contaminación del aire, mientras que una mayor humedad aumenta la tasa de sustancias químicas nocivas o tóxicas en el aire, también provocando la acumulación de ácaros en los hogares, lo que reduce la calidad del aire.

El objetivo de la investigación es el de poder encontrar el impacto de la contaminación en el aire  $P$ , sobre la salud respiratoria  $H$ , es decir  $\partial H/\partial P$ , sin embargo la asignación de contaminación no es aleatoria esta depende de comportamientos que disminuyen la carga de contaminación o la amplifican<sup>11</sup>, además se pueden

---

<sup>11</sup>En la literatura económica se habla de *avoidance behavior*, que corresponden a comportamientos de los individuos

presentar distintos efectos heterogéneos (grupos socio económicos) y no linealidades, es por tal motivo que necesitamos una fuente de variación exógena a la calidad del aire, ya que esta nos acercara a encontrar efectos causales del fenómeno.

### 2.3. Revisión de Literatura

Existe una vasta gama de literatura que documenta la relación entre la contaminación del aire y la salud de los individuos. Los economistas han contribuido a esta literatura abordando el problema de la endogeneidad de la contaminación atmosférica, utilizando distintos mecanismos de identificación. Estos mecanismos aprovechan ingeniosas estrategias para encontrar fuentes de variación exógena a la calidad del aire. Podemos dividir a la literatura económica que estudia estos fenómenos acorde a dichos mecanismos.

En primera instancia, existe la literatura de naturaleza quasi-experimental, en donde los trabajos pioneros de [Chay and Greenstone \(2003a\)](#) y [Chay and Greenstone \(2003b\)](#) marcaron una primera pauta para la investigación posterior, pues en el primer artículo los autores utilizaron la legislación del “*Clean Air Act* de 1970” en USA, para estimar el impacto sobre la disminución en mortalidad infantil, mientras que el segundo utiliza la recesión de 1981-1982 como fuente de variación exógena sobre el Total de partículas suspendidas (TSP), una vez más sobre la disminución en la mortalidad infantil. Un tercer artículo, esta vez de [Lleras-Muney \(2010\)](#) utiliza cambios de ubicación debido a reubicaciones a familiares militares, que ocurren enteramente para satisfacer las necesidades del ejército, para identificar el impacto causal de la contaminación en las hospitalizaciones respiratorias en niños. [Luechinger \(2014\)](#), utiliza como experimento natural la desulfurización de una planta eléctrica para ver el impacto sobre la tasa de mortalidad infantil. Por último, [Greenstone and Hanna \(2014\)](#) encuentra que la implementación de las nuevas regulaciones ambientales en la India no tuvieron impacto significativo sobre la mortalidad infantil. La evidencia recopilada en estos artículos indica que una disminución de la contaminación disminuye la tasa de mortalidad, excepto para el caso de la India, sin embargo el impacto sobre las hospitalizaciones no es concluyente.

Por otro lado están los documentos de investigación que hacen uso de IV, que en general son más recientes, en este caso los instrumentos utilizados son muy diversos. Empezando con [Moretti and Neidell \(2011\)](#) donde utilizan el tráfico marítimo de la ciudad de Los Ángeles como instrumento para medir el impacto sobre las hospitalizaciones respiratorias. [Schlenker and Walker \(2016\)](#) de igual manera evalúa el impacto sobre las atenciones en urgencia respiratorias y cardiovasculares haciendo uso del tráfico aéreo de múltiples aeropuertos del estado de California como instrumento de la contaminación, el resultado es un aumento de dichas atenciones de manera significativa. [Anderson \(2020\)](#) y [Deryugina et al. \(2019\)](#) utilizan los cambios en la dirección del viento, este último para medir el impacto sobre la mortalidad de la población de adultos mayores.

En el contexto chileno [Dardati et al. \(2021\)](#) estudian el impacto del  $PM_{2.5}$  en las visitas al departamento de emergencia por enfermedades respiratorias, también haciendo uso de cambios de dirección en el viento como instrumento, pero a diferentes altitudes, concluyen un vínculo positivo y significativo entre ambas variables. Además, evalúan dicho impacto para distintos cortes etarios de la población, realizando una

---

a disminuir la carga de la contaminación de corto plazo, mientras que el *residential sorting*, corresponden a comportamientos de evasión de largo plazo, cómo cambiar de domicilio para evitar una exposición mayor a la contaminación, basado en la idea original de ([Tiebout, 1956](#)) de votar con los pies.

asignación de la contaminación a partir de la ubicación de los centros hospitalarios de todo Chile. [Ruiz-Tagle and Miller \(2019\)](#) investiga el vínculo del contaminante  $PM_{10}$  con la mortalidad infantil para Santiago de Chile, utilizando como asignación a la contaminación la ubicación de los centros educativos que asiste el individuo, además también hace uso de inversiones térmicas como instrumento, encuentran que una de reducción de  $10 \mu g/m^3$  de  $PM_{10}$  reduce la tasa de mortalidad infantil en 20 menos muertes por 100,000 infantes, por año. [Ruiz Tagle \(2019\)](#) evalúa el impacto de la contaminación, esta vez sobre las atenciones en urgencias en los centros hospitalarios de Santiago de Chile, señala que el efecto más grande se encuentra en los infantes y en los adultos mayores, utiliza como instrumento la asistencia a partidos de fútbol de la FIFA realizados en Santiago, además de inversiones térmicas. [Rivera et al. \(2021\)](#) estiman el impacto de la rápida adopción de energía solar en Chile, como fuente de variación exógena a la calidad del aire, sobre las admisiones hospitalarias respiratorias, encuentran una reducción de estas admisiones hospitalarias.

Como anteriormente menciono, la presente investigación utiliza como instrumento a las inversiones térmicas, la literatura que utiliza este instrumento es escasa, [Beard et al. \(2012\)](#) encuentra una relación positiva entre inversiones térmicas y contaminación para el estado de Utah en USA, sin embargo el método utilizado no le permite concluir una relación de causalidad. [Arceo et al. \(2016\)](#) y [Jans et al. \(2018\)](#) son los estudios más relevantes que utilizan inversiones térmicas como instrumentos a la contaminación del aire, el primero para el contexto de la Ciudad de México y para medir el impacto sobre la mortalidad infantil, y el segundo para Suecia, para visitas a centros de salud, considerando el estatus socio económico de los cuidadores, ambos estudios encuentran que existen impactos negativos y significativos sobre la salud humana.

### 3. Datos y Estadística Descriptiva

Recopilo los datos de medidas de contaminación del aire, condiciones climáticas y hospitalizaciones en Santiago, entre los años 2013-2019. Cada fuente de datos se describe en detalle a continuación.

#### 3.1. Contaminación atmosférica

Los datos de contaminación del aire para el período 2013-2019 provienen del Sistema de Información de Calidad del Aire (SINCA), que comprende una red de estaciones de monitoreo operada por el Ministerio del Medio Ambiente de Chile, que consta de 11 estaciones ubicadas a lo largo de Santiago<sup>12</sup>. Los instrumentos y procedimientos de control de calidad de la red de monitoreo de Santiago siguen las recomendaciones de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos de América ([Osses et al., 2013](#)).

Los datos de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ , CO y  $O_3$  durante el período de estudio se construyen a partir de mediciones de concentraciones de contaminación recolectadas cada hora, a partir de este dato, calculo la media móvil máxima diaria de 24 horas por monitor ([Currie and Neidell, 2005](#)), con la excepción para CO que es una media móvil máxima de 8 horas. Cada monitor reporta el número promedio de partículas por billón (ppb) para CO y  $O_3$ , y la concentración promedio en el aire de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  en microgramos por metro cúbico ( $\mu g/m^3$ ). Después, tomo el promedio simple semanal<sup>13</sup>, para cada estación de monitoreo.

---

<sup>12</sup>Ver Figura B1 en el Anexo.

<sup>13</sup>Elijo una medida de tiempo semanal, contraria a una diaria, debido que muchas de las enfermedades respiratorias

Finalmente, construyo medidas semanales de contaminación para cada una de las comunas de Santiago de Chile, utilizando una metodología de interpolación, conocida como la ponderación de la distancia inversa (IDW)<sup>14</sup> utilizando a las estaciones de monitoreo cercanas como pesos; y el uso del centroide<sup>15</sup> censal<sup>16</sup> (Dell et al., 2014) de la comuna. De manera complementaria restringimos nuestra muestra a comunas que están dentro de un radio de 10 kilómetros<sup>17</sup> de una estación. El resultado final son los datos de 34 comunas en Santiago<sup>18</sup>. Evidentemente, existe un intercambio entre restringir la muestra a comunas que se encuentren más cerca de al menos una estación de monitoreo para ganar precisión en la medida de la contaminación, pero por otro lado también si se amplía el rango de alcance de la estación se gana más comunas, y por ende más datos.

### 3.2. Controles Meteorológicos

La información de temperatura, humedad y velocidad de viento proviene del (SINCA) de 11 estaciones de monitoreo, estos datos son procesados de la misma manera que la información de contaminación. La temperatura se encuentra en grados Celsius, la velocidad de viento en metros por segundo y la humedad relativa al aire en porcentaje. Por otro lado la precipitación proviene de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), entidad dependiente de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC). Estos datos vienen de una precipitación en litros de agua por metro cuadrado de terreno, estos últimos provienen de la información de 4 estaciones de monitoreo.<sup>19</sup>.

### 3.3. Inversiones Térmicas

Para calcular el proxy de estabilidad atmosférica, utilizo datos de las estaciones de monitoreo de Lo Prado y Quinta Normal (Ruiz Tagle, 2019; Casasepère, 2017), administradas por la DGAC-DMC. Este proxy es la diferencia de temperatura entre las dos estaciones, que se encuentran en diferentes altitudes, y que además utilizan el mismo procedimiento para medir la temperatura. La estación de Quinta Normal se encuentra a 520 m.s.n.m, mientras que Lo Prado se encuentra a 1.068 m.s.n.m. Sigo un procedimiento similar al utilizado en la sección 3.1, donde calculo la temperatura promedio a partir de las lecturas de cada hora, utilizando una ventana móvil de 24 horas, selecciono el máximo de dicha ventana. Procedo a estimar el indicador de estabilidad atmosférica como la diferencia entre estas temperaturas. Para esto utilizo la diferencia de

---

asociadas a la contaminación en el aire pueden manifestarse en un plazo mayor al diario, además el proceso de derivación de un paciente a una sala de hospitalización puede incorporar un tiempo adicional desde la manifestación de los síntomas.

<sup>14</sup>IDW, es un método de interpolación local que impone la condición de que el valor desconocido de un punto sea influenciado más por puntos cercanos que por aquellos más lejanos.

<sup>15</sup>El centroide de un objeto  $X$  perteneciente a un espacio  $n$ -dimensional es la intersección de todos los hiperplanos que dividen a  $X$  en dos partes de igual  $n$ -volumen con respecto al hiperplano. Calculo dicho centroide utilizando el límite urbano censal del Instituto Nacional de Estadísticas (INE).

<sup>16</sup>De esta manera nos aseguramos de reflejar la contaminación promedio experimentado por una persona en el área administrativa, y no la contaminación promedio experimentado por un lugar.

<sup>17</sup>Considero que este radio es razonable a utilizar dado que la literatura que utiliza la metodología de IDW u otro método de interpolación, usa un radio superior a 15 kilómetros (Currie and Neidell, 2005). Por otro lado las estimaciones no se ven afectadas utilizando un radio de 5 kilómetros.

<sup>18</sup>Ver Tabla A2 en el Anexo.

<sup>19</sup>Estas estaciones corresponden a Cardenal Samore, Pudahuel, Quinta Normal y Tobalaba.

temperatura entre las estaciones, para ver si en ese día estuvo presente una inversión térmica. Por último acumulo estos resultados de manera semanal, para llegar al número de inversiones térmicas en una semana, siendo que esta variable se encuentra acotada entre 0 y 7.

### 3.4. Hospitalizaciones

La información de hospitalizaciones proviene del Departamento de estadísticas e información de salud de Chile (DEIS), dependiente del Ministerio de salud de Chile (MINSAL). A partir de las bases de datos de Egresos Hospitalarios diarios para el periodo de 2013-2019, utilizo la fecha de egreso y los días de estadía del paciente, para calcular la fecha de ingreso a la sala de hospitalización.

Uso la décima versión de la Clasificación internacional de enfermedades (CIE-10)<sup>20</sup>, para seleccionar las enfermedades respiratorias<sup>21</sup> asociadas a la contaminación en el aire<sup>22</sup>. Más específicamente, la construcción de la variable dependiente de interés, se basa en la literatura médica (Brumberg et al., 2021; Dherani et al., 2008; Kurmi et al., 2010; Karr et al., 2009; Guarnieri and Balmes, 2014), esta variable es una acumulación de enfermedades respiratorias como la neumonía, bronquitis, bronquiolitis y asma (NBBA). De manera complementaria, recopilé el número de hospitalizaciones por todas las enfermedades respiratorias, enfermedades respiratorias no asociadas con la contaminación en el aire, así como enfermedades en el aparato digestivo, estos dos últimos para las pruebas de falsificación.

Los datos son recolectados para distintos cortes etarios, que se encuentran dentro del rango de 0-18 años. La base de datos contiene información de la comuna de residencia del paciente pediátrico, así calculo el número de hospitalizaciones por enfermedades respiratorias según el lugar de residencia comunal. A partir de este dato diario, acumulo los datos para una medida semanal. Para enriquecer nuestra variable de interés, utilicé la base del Censo 2017 del Instituto Nacional de Estadística (INE), con distintos cortes etarios y por comunas. Utilizo sus proyecciones poblacionales para construir la tasa de hospitalizaciones respiratorias infantiles por 100,000 niños/as.<sup>23</sup>

### 3.5. Estadística Descriptiva

La Tabla 1 muestra una descripción general de los datos. El panel (a) proporciona información sobre la tasa de hospitalizaciones respiratorias por 100,000 niños. La variable Infecciones Respiratorias NBBA, corresponde a la variable detallada en la sección 3.4, mientras que Infecciones agudas de las vías respiratorias corresponden a enfermedades como faringitis o laringitis, enfermedades respiratorias inferiores agudas corresponde a enfermedades como bronquitis y bronquiolitis, mientras que otras enfermedades corresponde principalmente a enfermedades como la rinitis, y las enfermedades respiratorias crónicas corresponde como

---

<sup>20</sup>La Clasificación internacional de enfermedades (CIE-10), 10ª edición determina la clasificación y codificación de las enfermedades y una amplia variedad de signos, síntomas, hallazgos anormales, denuncias, circunstancias sociales y causas externas de daños y/o enfermedad.

<sup>21</sup>El detalle de la clasificación de enfermedades respiratorias se encuentra en la Tabla A3 del Anexo.

<sup>22</sup>Las enfermedades respiratorias utilizadas para la construcción de la variable de interés se encuentra detallada en la Tabla A4 del Anexo.

<sup>23</sup>Las estimaciones no se modifican si asumo una tasa de crecimiento de la población para estas edades del 0.5% o 1%, dado que la tasa de crecimiento poblacional total de Chile se encuentra en 0.9% para 2020.

enfisemas o bronquiesctasia. La tasa de hospitalización NBBA es de 108 niños/as a la semana por cada 100,000 niños/as, la desviación estándar alcanza a 142, indicando bastante dispersión en los datos.

El panel (b) proporciona información sobre los contaminantes con valores de máximos de medias móviles de 24 horas y 8 horas, acumulados por semana. Aunque las normas internacionales<sup>24</sup> se encuentran para una media diaria y anual, los valores semanales de contaminación todavía se encuentran bastante elevados comparando con las guías.

El panel (c) muestra las principales estadísticas de las variables meteorológicas, añadiendo de manera complementaria los datos de temperatura mínima y máxima. Finalmente el panel (d) presenta las estadísticas de estabilidad atmosférica medido a través del número de inversiones térmicas en una semana y también que tan probable es que suceda una nueva inversión térmica en la semana, condicional en que ya sucedió esta durante la semana. En promedio, existen al menos dos inversiones térmicas en una semana, mientras que si en la semana hubo un día con inversión térmica, entonces la semana terminará con al menos tres días de inversión térmica. La media encontrada de inversiones térmicas es razonable, [Joly and Richard \(2019\)](#) encuentra para las montañas Jura en Francia una frecuencia de inversiones entre 50% y 20% en un periodo de estudio de tres años, estos valores equivalen a una media de 3.5 y 2 días a la semana respectivamente, otros estudios presentan medias similares, para otras regiones ([Antonioli, 2017](#); [Brümmer and Schultze, 2015](#)).

Para enfatizar la importancia de las inversiones térmicas, se presentan estadísticas descriptivas de las variables clave condicionadas al estado de una inversión térmica, en la [Tabla 2](#). En primera instancia, nuestra variable de interés de infecciones respiratorias NBBA presenta una media distinta (estadísticamente significativa)<sup>25</sup> cuando en la semana existe al menos un día con inversión versus a una semana sin inversión, y la variable es 292 % más alta durante las semanas con inversiones. Para los contaminantes es una historia similar, en promedio, el nivel de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y CO es alrededor de un 50 %, 94 %, 162 % más alto cuando es una semana con al menos una inversión, únicamente O<sub>3</sub> presenta una media inferior en semanas con inversión, esto se debe a la interacción de la luz solar y las inversiones térmicas explicadas en la [sección 1](#). La temperatura es baja en semanas con inversión, la humedad relativa es mayor en semanas con al menos una inversión, al igual que la precipitación, mientras que la velocidad del viento es menor en semanas de inversión.

Finalmente para enfatizar la relación inherente entre contaminación y hospitalizaciones, muestro en la [Figura 1](#) que existe una correlación significativa entre la tasa de hospitalizaciones NBBA y con los contaminantes PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y CO, 0.4%, 0.55%, 0.58% respectivamente. En segundo lugar se puede apreciar que las variables presentan un componente estacional significativo en los meses de invierno (Junio-Julio-Agosto)<sup>26</sup>, indicando que será necesario abordar este problema en la especificación del modelo.

---

<sup>24</sup>Para ver las guías internacionales y nacionales permitidas de contaminación, ver la [Tabla A5](#) del Anexo.

<sup>25</sup>Ver [Tabla C1](#) del Anexo.

<sup>26</sup>Ver [Tablas B2](#) y [B3](#) en el Anexo.

Tabla 1  
*Estadísticas Muestrales*

	Media (1)	Desviación estándar (2)	Obs. (3)
<i>Panel (a): Tasa de Hospitalizaciones × 100,000 niños</i>			
Infecciones Respiratorias NBBA	108	142	12,376
Infecciones agudas de las vías respiratorias superiores	3	7	12,376
Gripe y Neumonía	54	88	12,376
Enfermedades respiratorias inferiores agudas	31	54	12,376
Otras enfermedades de las vías respiratorias superiores	20	26	12,376
Enfermedades respiratorias inferiores crónicas	5	11	12,376
Infecciones Respiratorias Totales	176	163	12,376
<i>Panel (b): Contaminantes</i>			
Material Particulado 24-hrs PM <sub>10</sub>	76.65	23.90	12,129
Material Particulado 24-hrs PM <sub>2,5</sub>	31.98	16.00	12,129
Monóxido de carbono 8-hrs CO	1.08	0.72	12,129
Ozono 24-hrs O <sub>3</sub>	15.80	7.27	12,129
<i>Panel (c): Clima</i>			
Temperatura 24-hrs	16.78	4.96	12,376
Temperatura máxima 24-hrs	19.12	4.88	12,376
Temperatura mínima 24-hrs	12.54	5.10	12,376
Humedad 24-hrs	63.12	11.49	12,376
Velocidad viento 24-hrs	1.49	0.54	12,376
Precipitación 24-hrs	0.59	1.75	12,376
<i>Panel (d): Inversiones Térmicas</i>			
Número de inversiones en una semana	1.90	2.27	12,376
Número de inversiones condicional en una inversión	3.69	1.86	6,358

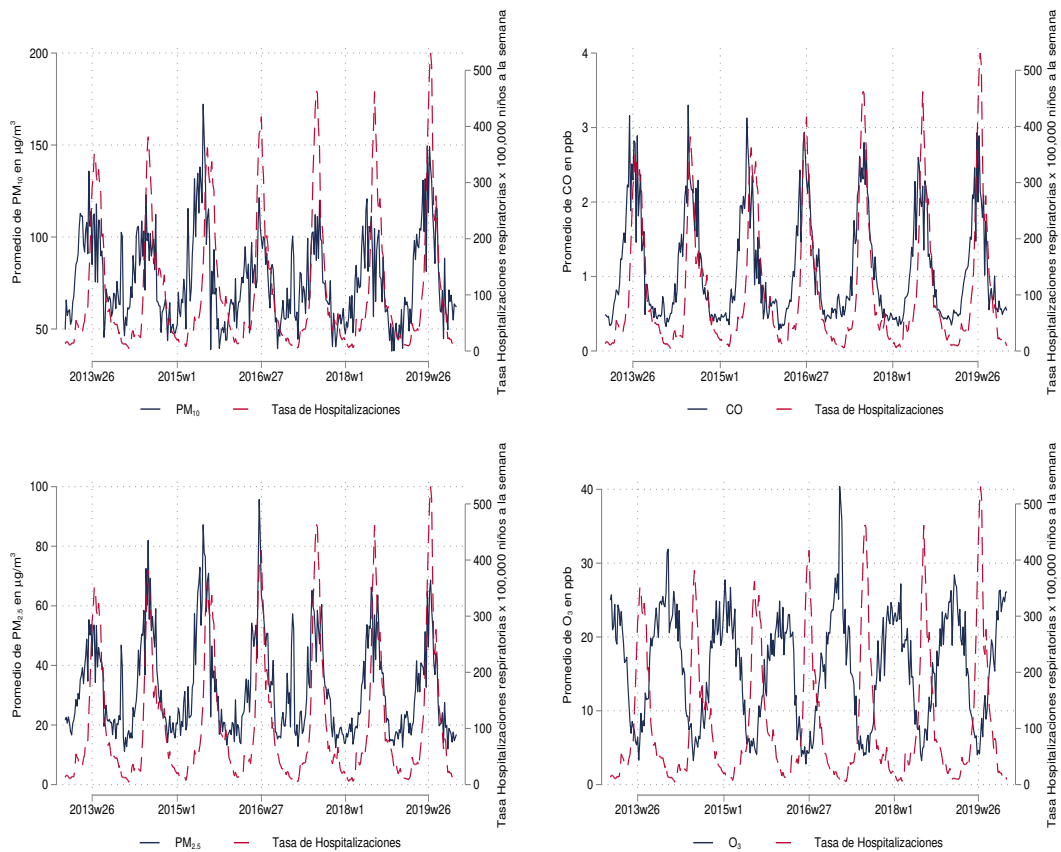
*Nota:* Esta tabla contiene estadística descriptiva para las variables claves en el análisis de regresión. Panel (a) provee información de las tasas de hospitalizaciones respiratorias, mientras que el panel (b) da información de cada contaminante. Panel (c) reporta información sobre variables climáticas, mientras que el panel (d) provee información sobre inversiones térmicas. Las variables de Infecciones respiratorias están construidas a partir de la Clasificación internacional de enfermedades, 10.<sup>a</sup> edición (CIE-10). Datos de hospitalizaciones son informados por el Departamento de Estadísticas e Información de Salud del Ministerio de Salud - Gobierno de Chile (<http://deis.minsal.cl>). Los datos de contaminación y meteorológicas fueron recolectados del Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire del Ministerio del Medio Ambiente - Gobierno de Chile (<http://sinca.mma.gob.cl>) y también de la Dirección General de Aeronáutica Civil - Dirección Meteorológica de Chile (<http://www.meteochile.gob.cl>). Los datos de las inversiones térmicas fueron construidos a partir de la información de la Dirección Meteorológica de Chile.



Tabla 2  
*Estadísticas Muestrales, por inversión térmica*

	Semanas sin inversion		Semanas con inversion	
	Media	Sd.	Media	Sd.
Infecciones Respiratorias NBBA	43.13	65.86	168.92	166.32
Infecciones Respiratorias Totales	101.08	89.44	247.56	184.07
Infecciones agudas de las vías respiratorias superiores	2.71	5.67	3.79	7.57
Gripe y Neumonía	18.85	39.72	86.40	106.01
Enfermedades respiratorias inferiores agudas	9.86	19.82	50.43	66.57
Otras enfermedades de las vías respiratorias superiores	20.66	26.31	19.17	24.95
Enfermedades respiratorias inferiores crónicas	3.77	9.19	5.63	12.73
Material Particulado 24-hrs PM <sub>10</sub>	60.98	13.52	91.47	22.08
Material Particulado 24-hrs PM <sub>2.5</sub>	21.53	8.21	41.86	15.28
Monóxido de carbono 8-hrs CO	0.59	0.26	1.55	0.70
Ozono 24-hrs O <sub>3</sub>	20.52	5.09	11.33	6.11
Temperatura 24-hrs	20.03	3.68	13.70	3.94
Temperatura máxima 24-hrs	22.19	3.60	16.22	4.10
Temperatura mínima 24-hrs	15.79	4.08	9.46	3.92
Humedad 24-hrs	57.87	10.42	68.08	10.17
Velocidad viento 24-hrs	1.76	0.47	1.23	0.47
Precipitación 24-hrs	0.40	1.79	0.76	1.69

*Nota:* Esta tabla contiene estadística descriptiva para las variables claves por inversión térmica, divididas por semanas sin inversión térmica versus semanas que al menos presentan una inversión térmica en la semana. Las variables de Infecciones respiratorias están construidas a partir de la Clasificación internacional de enfermedades, 10.<sup>a</sup> edición (CIE-10). Datos de hospitalizaciones son informados por el Departamento de Estadísticas e Información de Salud del Ministerio de Salud - Gobierno de Chile (<http://deis.minsal.cl>). Los datos de contaminación y meteorológicas fueron recolectados del Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire del Ministerio del Medio Ambiente - Gobierno de Chile (<http://sinca.mma.gob.cl>) y también de la Dirección General de Aeronáutica Civil - Dirección Meteorológica de Chile (<http://www.meteochile.gob.cl>). Los datos de las inversiones térmicas fueron construidos a partir de la información de la Dirección Meteorológica de Chile.



*Fig. 1. Hospitalizaciones y contaminación*

*Nota:* La Figura compara las concentraciones semanales promedio para el máximo promedio diario de 24 horas para  $PM_{10}$ , el promedio máximo diario de 24 horas de  $PM_{2.5}$ , el promedio máximo diario de 8 horas de CO y el promedio máximo diario de 24 horas de  $O_3$  (línea azul), con la tasa de hospitalizaciones NBBA por cada 100,000 niños entre 0-18 años (línea roja discontinua), para los años 2013-2019.

## 4. Estrategia Empírica

### 4.1. Especificación Básica

Usando una base de datos de corte longitudinal, estimo el vínculo entre la contaminación en el aire de corto plazo y la tasa de hospitalizaciones respiratorias por 100,000 niños de nuestra variable (NBBA), para la ciudad de Santiago de Chile.

Para modelar los efectos de la contaminación adopto el siguiente modelo de datos de panel básico:

$$hosp_{csa} = \beta_0 + \beta_1 C_{csa} + \beta_2 M_{csa} + \beta_3 G(M_{csa}) + \sum_{c=1}^{34} \beta_{4cs} + \mu_c + \theta_{cbm} + \epsilon_{csa} \quad (2)$$

donde  $hosp_{csa}$  representa la tasa de hospitalización infantil NBBA entre 0-18 años por 100,000 niños/as en la comuna  $c$ , en la semana  $s$  y en el año  $a$ .  $C_{csa}$  corresponde al promedio observado de la medida de contaminación en la comuna  $c$ , en la semana  $s$  y en el año  $a$ , que puede ser PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, CO u O<sub>3</sub>. La variable  $M_{csa}$  es un conjunto de variables de control climáticas o meteorológicas en la comuna  $c$ , en la semana  $s$  y en el año  $a$ , que incluyen la velocidad del viento, humedad, precipitación temperatura promedio, máxima y mínima, que son muy importantes de controlar porque afectan tanto a la contaminación atmosférica, como a las enfermedades respiratorias (Dell et al., 2014).  $G(M_{csa})$  es un polinomio de cuarto grado para las variables meteorológicas, y como indica Knittel et al. (2016) la inclusión de polinomios de orden mayor para las variables climatológicas tiene un impacto significativo en las estimaciones en la relación de contaminación y mortalidad infantil, por lo cuál es probable que también lo tenga para la tasa de hospitalizaciones.  $\mu_c$  representa efectos específicos de cada comuna, que corresponden a diferencias invariantes en el tiempo entre las comunas, que afectan tanto a la contaminación como a las enfermedades respiratorias, tales como las condiciones socio-económicas a nivel comunal, el acceso a la atención médica o la infraestructura de atención médica a nivel comunal.  $\theta_{cbm}$  corresponde a una forma más restrictiva para controlar los efectos fijos temporales (estacionalidad) y que además varíe según la comuna en un ventana bimensual<sup>27</sup>; utilizamos el efecto fijo bimensual por comuna para tener en cuenta los efectos estacionales dentro de cada municipio como en Arceo et al. (2016), sin embargo en nuestro modelo la inclusión de  $\theta_{cbm}$  es fundamental<sup>28</sup>.  $\sum_{c=1}^{34} \beta_{4cs}$  corresponde a tendencias lineales de tiempo específicas para las 34 comunas de objeto de estudio, la inclusión de dichas tendencias se realiza con el propósito de controlar por diferencias no observadas que varían en el tiempo entre comunas y que por lo tanto nuestros efectos fijos no son capaces de controlar. Finalmente,  $\epsilon_{csa}$  son todas las variables no observadas que afectan a la tasa de hospitalización por motivos respiratorios, y estos se encuentran clusterizados al nivel semanal.

<sup>27</sup>Una forma natural sería incluir efectos fijos temporales semanales, sin embargo en la sección 5.1 se muestra que nuestro instrumento de inversiones térmicas varía a nivel semanal, lo cual incluir los efectos fijos temporales semanales provocaría un problema de identificación en la estimación de IV.

<sup>28</sup>El uso de efectos fijos mensuales por comuna y efectos fijos mensuales, resulta en una estimación no significativa para la variable de interés como se puede ver en la Tabla C5 del Anexo para IV. Este resultado puede indicar que en una ventana de dos meses y diferenciando entre comunas, variables no observadas relevantes varían significativamente en una ventana bimensual y no así en una ventana mensual, lo cuál tiene sentido, ya que por ejemplo el tiempo que pasan en el exterior los infantes o el flujo del tráfico vehicular, probablemente varíen de manera significativa en un horizonte de tiempo mayor al mensual. Efectos como vacaciones escolares o temporada de invierno/verano se encuentran detrás de este efecto.

Esta representación del modelo de contaminación y enfermedades respiratorias, resulta una buena primera aproximación, para encontrar el impacto causal de la contaminación sobre la tasa NBBA, sin embargo como se menciona en Angrist and Pischke (2009) existe todavía muchos problemas con este modelo de efectos fijos. El primer problema es el error de medición que sucede en datos de panel, ya que al diferenciar o al utilizar desviaciones respecto a la media, la estimación elimina el sesgo de variables omitidas pero también elimina información importante de la variable de interés, además nuestras variables provienen desde estaciones de monitoreo esparcidas y agregadas desde una medida temporal de horas hasta llegar a una medida semanal, para solucionar dicho problema se sugiere el uso de métodos de IV (Krueger, 1999), como veremos en la sección 5.2. Sin embargo, este no es el único problema de la ecuación 2, la estimación de efectos fijos no puede controlar por variables omitidas que varían en el tiempo (Stock et al., 2003), por lo tanto el valor de  $\beta_1$  puede permanecer sesgado. Es por esto que usamos la variación en la contaminación que no es impulsada por las emisiones, (Ruiz-Tagle, 2018), sino la variación en la contaminación que es impulsada por los cambios en la ventilación de aire de Santiago, a través de la variación en las inversiones térmicas, que veremos en la sección 5.2.

## 4.2. MCO

Se presentan las estimaciones de base para el efecto de la exposición a la contaminación en el aire, sobre la tasa de hospitalizaciones respiratorias NBBA en la Tabla 3.

En primer lugar empiezo con la estimación más básica, la columna (1) corresponde a una estimación donde la única variable explicativa es  $C_{csa}$  la contaminación, la columna (2) añade  $\theta_{cbm}$  los efectos bimensuales por comuna y  $\mu_c$  los efectos fijos comunales, la columna (3) añade  $M_{csa}$ ,  $G(M_{csa})$  controles meteorológicos y sus formas polinómicas y finalmente la columna (4) corresponde al modelo completo de efectos fijos de la ecuación 2.

Estos resultados muestran el efecto de la exposición a la contaminación, en todas las especificaciones son estadísticamente significativas al 99% de nivel de confianza, clusterizando los errores al nivel semanal<sup>29</sup>. En el modelo más básico, los coeficientes de las estimaciones son significativamente mayores que el resto de las estimaciones, en este modelo la contaminación tiene un efecto mayor sobre la tasa de hospitalizaciones NBBA, no obstante, también es muy probable que dicha estimación se encuentre sesgada porque no se cumpliría  $E(C_{csa}, \epsilon_{csa}) = 0$ , ya que por ejemplo puede haber comunas con mejor ubicación geográfica que otras y que tienen mejores niveles de enfermedades respiratorias, independiente del nivel de contaminación. En el siguiente modelo, incluimos efectos fijos temporales, estacionales, comunales; el efecto de la contaminación se reduce considerablemente, pero tenemos más confianza que es un modelo que controla por diferencias entre comunas invariantes en el tiempo, la inclusión de controles meteorológicos reduce la estimación para  $PM_{2.5}$  y CO, por último la inclusión de tendencias lineales no modifican considerablemente las estimaciones puntuales de las variables de contaminación. Estos resultados sugieren también que la exposición de los contaminantes  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  y CO incrementan significativamente la tasa de hospitalizaciones NBBA. Por ejemplo, en la estimación más completa, un incremento de  $1 \mu g/m^3$  en el promedio semanal de  $PM_{10}$ , conlleva a 1.04 hospitalizaciones NBBA por 100,000 niños/as en una semana en Santiago, mientras que para  $PM_{2.5}$  el mismo aumento provoca una subida de 1.74 en la tasa de hospitalizaciones NBBA, probablemente porque el

<sup>29</sup>Los resultados no se modifican si clusterizamos a nivel comunal, ver Tabla C6 en el Anexo.

tamaño de las partículas es inversamente proporcional al daño que puede ocasionar en el sistema respiratorio como se indico en la sección 2.1. Cabe señalar que la estimación de O<sub>3</sub> es negativa en todas regresiones, y significativa, este fenómeno era de esperar, porque como indica Jacobson (2002) las inversiones pueden tener efectos atenuados sobre el O<sub>3</sub>, este último requiere más tiempo para mezclarse con otros contaminantes (CO, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) y, por lo tanto, solo pueden aparecer más tarde en el día cuando es probable que las inversiones ya hayan sucedido, además dado que las reacciones químicas que dan como resultado el O<sub>3</sub> requieren calor y luz solar, las gruesas capas de contaminación asociado con inversiones térmicas pueden interferir con la formación de O<sub>3</sub> (Arceo et al., 2016). Por otro lado al instrumentar O<sub>3</sub>, la estimación de primera etapa no pasa la prueba de instrumentos débiles, por lo que desestimamos el uso de dicho contaminante.

Estas estimaciones de referencia presentadas anteriormente provienen de un modelo en el que la exposición a la contaminación se toma como una variable exógena. En la siguiente sección, relajo esta suposición y uso el método de variables instrumentales. Este enfoque corrige dos posibles amenazas a la interpretación de las estimaciones puntuales presentados en esta sección: variables omitidas y error de medición en el nivel de exposición a los contaminantes.

Tabla 3  
*Estimación MCO: Contaminación en las Hospitalizaciones Respiratorias Infantiles*

	MCO I (1)	MCO II (2)	MCO III (3)	MCO IV (4)
PM <sub>10</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24-hrs	2.3174*** (0.2401)	0.8027*** (0.2565)	1.0194*** (0.1699)	1.0402*** (0.1925)
PM <sub>2.5</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24-hrs	4.8700*** (0.3260)	2.2111*** (0.4311)	1.8173*** (0.3167)	1.7425*** (0.3533)
CO partes por billón (ppb) 8-hrs	117.0231*** (6.5334)	79.2775*** (9.4819)	56.6409*** (7.9539)	65.0058*** (9.3083)
O <sub>3</sub> partes por billón (ppb) 24-hrs	-11.3634*** (0.6473)	-5.5687*** (0.7504)	-3.5205*** (0.7485)	-4.1794*** (0.7728)
Bimensual x comuna FE		✓	✓	✓
Efectos Fijos comunales		✓	✓	✓
Controles Metereológicos			✓	✓
Tendencias Semanales-comuna				✓

*Nota:* Esta tabla presenta las estimaciones de MCO del efecto de la contaminación sobre la tasa de hospitalizaciones respiratorias infantiles NBBA entre 0-18 años. Cada columna estima cuatro regresiones distintas, una para cada contaminante, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, CO y O<sub>3</sub>. Columna (1) es la estimación más básica, controlando únicamente por la medida de contaminación. Columna (2) controla por efectos fijos bimensuales por comuna y efectos fijos por comuna. Columna (3) además controla por las variables climáticas junto con polinomios de cuarto grado para la temperatura media durante la semana, temperaturas máximas y mínimas durante la semana, medidas de precipitación, humedad relativa y velocidad del viento. Columna (4) añade tendencias semanales por comuna. Los errores estándar (entre paréntesis) están clusterizados a nivel semanal. Significancia estadística: \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.10.

## 5. Variables Instrumentales

### 5.1. Inversiones térmicas como fuente de variación exógena a la Contaminación Atmosférica

Explo to el grado de estabilidad atmosférica, medido a través del número de inversiones térmicas que ocurren en una semana, como fuente de variación exógena a la calidad del aire. Este fenómeno consiste en una inversión del comportamiento normal de la temperatura en la troposfera. La temperatura del aire en la troposfera suele descender con la altitud a unos 6.5°C cada 1,000 metros. Los períodos de inversión son caracterizado por el aumento de la temperatura a medida que aumenta la altitud. Las inversiones térmicas dan como resultado una alta estabilidad atmosférica en la troposfera que no permite la adecuada ventilación de la contaminación<sup>30</sup>.

Una inversión se caracteriza por su fuerza, espesor, altura, temperaturas superior/base (Jacobson, 2002). La fuerza de la inversión es la diferencia entre la temperatura de la parte superior de la inversión y su base<sup>31</sup>. El espesor de inversión es la diferencia entre las alturas de la parte superior y de la base de la inversión. La altura de la base de la inversión, es la altura desde el suelo hasta el fondo de la inversión. Debido a que las estaciones de monitoreo en Santiago no miden la temperatura a diferentes altitudes, utilizo la variable proxy de la sección 3.3.

A partir de ahora es necesario verificar la validez del instrumento de inversiones térmicas, un instrumento válido provee resultados con valor y significado (Stock et al., 2003). El instrumento debe cumplir con dos supuestos esenciales para que se cumpla la validez del instrumento, en primer lugar el instrumento debe ser exógeno y en segundo lugar el instrumento deber ser relevante. Para verificar el primer supuesto, no es posible realizar una prueba estadística que nos de mayor certeza, sin embargo la literatura médica indica que las inversiones térmicas no representan un riesgo a la salud de las personas de manera directa, condicional al nivel de temperatura, sólo a través de manera indirecta a través de la acumulación de contaminantes. Para verificar el segundo supuesto, el instrumento de inversiones térmicas debe ser capaz de explicar en gran medida la variación de la contaminación atmosférica. La Figura 2 representa una primera aproximación visual para indicar si el instrumento utilizado es relevante para las mediciones de contaminación, la figura indica que a medida que hay más inversiones térmicas en la semana (barra roja), la concentración promedio de contaminación va aumentando para PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y CO, pero esto no sucede para O<sub>3</sub>. A continuación se necesita una verificación más formal del supuesto de relevancia, la cuál se puede realizar con la estimación de primera etapa de IV<sup>32</sup>:

$$C_{csa} = \alpha_0 + \alpha_1 IT_{sa} + \alpha_2 M_{csa} + \alpha_3 G(M_{csa}) + \sum_{c=1}^{34} \alpha_{4c} ts + \mu_c + \theta_{cbm} + \nu_{csa} \quad (3)$$

---

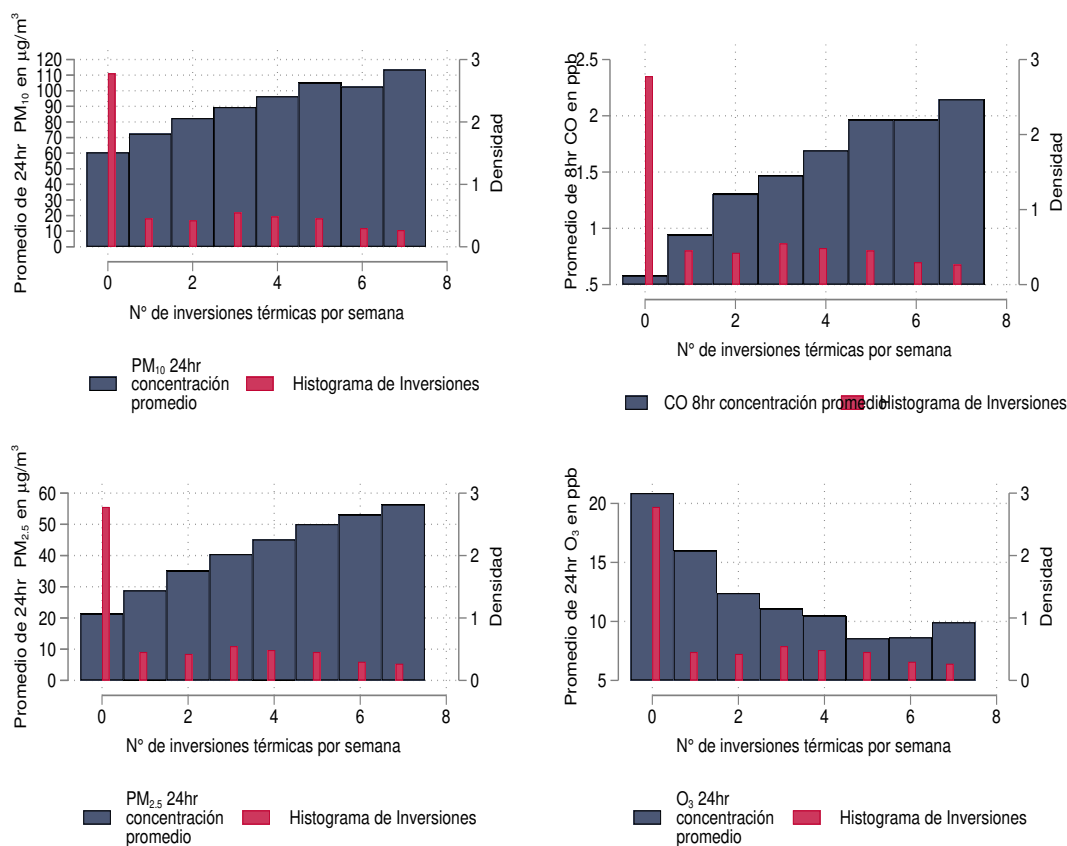
<sup>30</sup>Ver Tabla B4 en el Anexo.

<sup>31</sup>Ver Tabla B5 en el Anexo.

<sup>32</sup>En esta estimación de primera etapa también es necesario controlar por las variables meteorológicas, ya que éstas también interactúan con las inversiones térmicas, por ejemplo cuando hay muchas inversiones térmicas por semana, la temperatura es más baja, la precipitación es mayor (efecto contrapuesto), la humedad es mayor y la velocidad de viento es menor, estos fenómenos climáticos contribuyen en la formación de la inversión, ver Figura B6 en el Anexo.

Donde  $IT_{sa}$  representa a nuestro instrumento de número de inversiones térmicas en la semana  $s$ , año  $a$  y el resto de variables ya han sido caracterizados anteriormente. Los resultados de esta ecuación pueden ser vistos en la Tabla 4. En primera instancia todos los coeficientes de las estimaciones son estadísticamente significativos, y para  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  y  $CO$ , las estimaciones puntuales son positivas. Las inversiones térmicas funcionan como buen predictor, para explicar la variabilidad de la contaminación. En concreto una inversión adicional en la semana tiene como impacto un incremento de  $3.2 \mu g/m^3$ ,  $2.1 \mu g/m^3$  y  $0.09$  ppb, para  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $CO$  respectivamente. Estos resultados indican que las inversiones térmicas son un buen instrumento. De manera complementaria realizo una prueba  $F$  de instrumentos débiles, para  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  y  $CO$ . El valor  $F$  supera con bastante margen el valor de 10 de umbral que se utiliza frecuentemente (Stock and Yogo, 2002), mientras  $O_3$  no pasa la prueba de instrumentos débiles.

Estas estimaciones de la primera etapa de IV, me permiten tener confianza que el número de inversiones térmicas en una semana funciona como un instrumento relevante y exógeno para la estimación en la segunda etapa para los contaminantes de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  y  $CO$ .



*Fig. 2. Inversiones Térmicas y Contaminación*

*Nota:* La Figura compara las concentraciones semanales promedio para el máximo promedio diario de 24 horas de  $PM_{10}$ , el promedio máximo diario de 24 horas de  $PM_{2.5}$ , el promedio máximo diario de 8 horas de  $CO$  y el promedio máximo diario de 24 horas de  $O_3$  (barra azul), por el número de inversiones térmicas por semana (barras gruesas) y el histograma de inversiones térmicas por semana (barras rojas).

Tabla 4  
*El efecto de las Inversiones Térmicas en la Contaminación (Primera Etapa)*

	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO 8-hrs	O <sub>3</sub>
	(1)	(2)	(3)	(4)
Inversiones térmicas	3.269*** (0.471)	2.053*** (0.335)	0.088*** (0.012)	-0.223*** (0.071)
Bimensual x comuna FE	✓	✓	✓	✓
Efectos Fijos comunales	✓	✓	✓	✓
Controles Metereológicos	✓	✓	✓	✓
Tendencias Semanales-comuna	✓	✓	✓	✓
Prueba F	48.20	37.59	50.61	9.86
Media de la variable resultado	76.65	31.98	1.08	15.80
Desv. estándar de la variable resultado	23.903	15.999	0.716	7.270
N	12,129	12,129	12,129	12,129

*Nota:* Esta tabla estima los coeficientes del efecto del número de inversiones por semana en las concentraciones de los contaminantes, controlando por efectos fijos bimensuales x comuna, efectos fijos por comuna, tendencias semanales de la comuna. Los controles meteorológicos son polinomios de cuarto grado para la temperatura media durante la semana, temperatura máxima y mínima durante la semana, precipitación, humedad y velocidad del viento. La prueba F corresponde a la prueba de instrumentos débiles en variables instrumentales. Cada columna dentro cada panel corresponde a una regresión separada. Los errores estándar (debajo de la estimación entre paréntesis) están clusterizados a nivel de semana. Significancia estadística: \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.10



## 5.2. IV

Presento a continuación el modelo de contaminación, inversión térmica y hospitalizaciones NBBA, la estimación de la segunda etapa IV:

$$hosp_{csa} = \gamma_0 + \gamma_1 \widehat{C}_{csa} + \gamma_2 M_{csa} + \gamma_3 G(M_{csa}) + \sum_{c=1}^{34} \gamma_{4c} ts + \mu_c + \theta_{cbm} + \eta_{csa} \quad (4)$$

Donde  $\widehat{C}_{csa}$  representa la estimación de la contaminación en la primera etapa. Los resultados de este modelo se encuentran la Tabla 5. Para comparar los resultados obtenidos, en la columna (1) se encuentran las estimaciones de la ecuación 2 de la estimación de efectos fijos (FE), para comparar con los de IV. En primer lugar, el efecto de IV es mayor a los de FE, en todas las estimaciones, afirmando a la literatura econométrica, que las estimaciones de FE presentan problemas de error de medición y estos provocan estimaciones significativamente menores. En segundo lugar, todas las estimaciones de los contaminantes son estadísticamente significativas al 99% de confianza. En tercer lugar la magnitud del coeficiente de  $PM_{2.5}$  es mayor que el de  $PM_{10}$ , corroborando a la literatura médica que los efectos nocivos en la salud de las personas es más severo cuando el tamaño de la partícula es menor (Sandoval et al., 2019).

Las estimaciones puntuales indican que un incremento de  $1 \mu g/m^3$  en el promedio semanal de  $PM_{10}$ , conlleva a 2.16 hospitalizaciones de NBBA por 100,000 niños/as en una semana en Santiago, mientras que para  $PM_{2.5}$  el mismo aumento provoca 3.17 hospitalizaciones de NBBA por 100,000 niños/as, y un incremento de 1 ppb en el promedio semanal de CO causa un incremento de 80.18 hospitalizaciones de NBBA por 100,000 niños/as en una semana en Santiago. En términos de elasticidades, un incremento de 1% de  $PM_{10}$  en un año conduce a un aumento de 1.56% en la tasa de hospitalizaciones NBBA, mientras que para  $PM_{2.5}$  y para CO, conlleva a un aumento de 0.95% y 0.87% en la tasa de hospitalizaciones NBBA. Estos primeros resultados indican que existe un efecto negativo significativo de la contaminación en el aire sobre la salud de los infantes entre 0-18 años, medido a través de la tasa de hospitalización NBBA por 100,000 niños/as. Es decir cuando, aumentan los niveles de contaminación en el aire, aumentaría la tasa de hospitalizaciones, controlando por efectos fijos invariantes en el tiempo de comuna, efectos fijos temporales estacionales, controles climáticos y tendencias lineales semanales de cada comuna.

A pesar de haber respondido a la pregunta principal de la presente investigación todavía quedan muchas interrogantes por resolver. Arceo et al. (2016) menciona que a pesar de haber controlado por efectos estacionales distintos en cada comuna, es posible que todavía queden remanentes de estacionalidad por controlar, es por tal motivo y utilizando su metodología exploro caminos alternativos para ver si los resultados se mantienen controlando de manera más estricta por la estacionalidad. De manera complementaria en las siguientes secciones evalué en primera instancia si existen efectos no lineales en la relación entre la contaminación y la tasa de hospitalizaciones NBBA, en segundo lugar exploro canales y pruebas de robustez, como efectos heterogéneos, posibles fuentes de confusión de las estimaciones por el uso de múltiples contaminantes, pruebas de placebo y finalmente una estimación preliminar del costo económico asociado a la contaminación en el aire.

Tabla 5  
*El efecto de la contaminación en las Hospitalizaciones Respiratorias Infantiles*

	FE PM <sub>10</sub> (1)	IV PM <sub>10</sub> (2)	FE PM <sub>2.5</sub> (3)	IV PM <sub>2.5</sub> (4)	FE CO (5)	IV CO (6)
Tasa de Hospitalizaciones NBBA por 100,000 niños	1.0402*** (0.1925)	2.1624*** (0.6362)	1.7425*** (0.3533)	3.1796*** (0.9757)	65.0058*** (9.3083)	80.1807*** (21.6506)
Bimensual x comuna FE	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Efectos Fijos comunales	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Controles Metereológicos	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tendencias Semanales-comuna	✓	✓	✓	✓	✓	✓

*Nota:* Esta tabla presenta las estimaciones de efectos fijos y variables instrumentales del efecto de la contaminación sobre la tasa de hospitalizaciones NBBA de niños entre 0-18 años por cada 100,000 niños. Todas las especificaciones controlan por los efectos fijos bimensuales por comuna, efectos fijos de comuna, tendencias semanales específicas de la comuna y controles de variables climáticas. En la estimación de variables instrumentales, el número de inversiones térmicas por semana es el instrumento utilizado. Los controles meteorológicos son polinomios de cuarto grado para la temperatura media durante la semana, temperatura máxima y mínima durante la semana, precipitación, humedad y velocidad del viento. Cada columna corresponde a una regresión separada. Los errores estándar (entre paréntesis) están clusterizados a nivel de semana. Significancia estadística se indica mediante: \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.10.

### 5.3. Estacionalidad

Controlar por las variables climáticas es esencial para que se mantenga la restricción de exclusión, ya que las inversiones térmicas tienen un claro patrón estacional y estas variables pueden afectar independientemente a la tasa de hospitalizaciones NBBA. Por otro lado, como medida adicional controlo por estacionalidad al introducir efectos bimensuales por comuna, en secciones anteriores. Ahora en esta sección realizaremos una estimación adicional para observar si nuestros resultados encontrados en la sección 5.2 se cumplen para toda estación del año o únicamente para una estación en particular.

Como vemos en la Figura B6 del Anexo, la mayoría de las inversiones térmicas suceden en los meses de invierno (Mayo-Agosto), pero también existen inversiones térmicas dispersas en el resto del año, son estas últimas inversiones térmicas las que me permiten comprobar si los resultados encontrados anteriormente se mantienen fuera de la temporada de invierno.

Utilizando la metodología de Arceo et al. (2016) defino “semanas de verano” para controlar posibles efectos estacionales residuales, es así que establezco dos definiciones de verano: el primero a partir de la semana 38 del presente año hasta la semana 13 del siguiente año (Definición de verano 1) y la segunda a partir de la semana 39 a la semana 14 del siguiente año (Definición de verano 2). Estas semanas corresponden a las semanas del año en las que la temperatura aumenta sustancialmente en comparación con las semanas de invierno. Para probar si los resultados difieren entre meses de verano y de invierno, incluyo la variable interacción entre la concentración de contaminación y el indicador de semanas de verano. Realizo la estimación con dos instrumentos, siendo el primero el número de inversiones térmicas en una semana y el segundo es la interacción entre el número de inversiones térmicas por semana por el indicador de semanas de verano.

Los resultados quedan detallados en la Tabla 6. Las estimaciones puntuales primero indican que el efecto de la concentración de contaminantes sobre la tasa de hospitalización NBBA es positiva (efecto para la salud negativo) para todas las estimaciones y éstas son altamente significativas independientemente de la definición de verano que utilizamos. En segundo lugar, observando los valores de los coeficientes estimados y sus errores estándar, podemos confirmar que el efecto de la contaminación controlando por ambas medidas de verano es prácticamente idéntico, si además comparamos estas estimaciones y errores estándar con las de la Tabla 5 y la Tabla C2 del Anexo, no encontramos diferencias significativas entre las estimaciones puntuales. Sin embargo, si encontramos diferencias en el efecto de  $PM_{2.5}$  para los meses de verano, tanto para los infantes de 0 años como para el grupo de 0-18 años. De manera concreta el efecto de un aumento de  $1 \mu g/m^3$  en el promedio semanal de  $PM_{2.5}$ , conlleva a 3.08 hospitalizaciones de NBBA por 100,000 niños/as en una semana de invierno en Santiago, mientras que el efecto para  $PM_{2.5}$  en una semana de verano es de 2.39 hospitalizaciones de NBBA por 100,000 niños/as<sup>33</sup>, este efecto distinto entre estaciones solo encontramos para  $PM_{2.5}$ <sup>34</sup>, mientras que para  $PM_{10}$  y CO las interacciones no son significativas al menos al 95% nivel de confianza, lo cual indicaría que el efecto de la contaminación es prácticamente idéntico entre estaciones, es decir el efecto es independiente de la estación del año, para estos dos últimos contaminantes.

<sup>33</sup>Es necesario señalar también que la interacción de definición de verano 1 con  $PM_{10}$  para 0 años es significativa al 90% de confianza, mientras que la interacción de definición de verano 2 con  $PM_{2.5}$  también para 0 años es significativa también al 90% de confianza, no presento estos resultados como evidencia contundente, ya que el nivel de confianza no alcanza al menos el 95%, sin embargo estos resultados indicarían que si bien los recién nacidos son muy sensibles a la contaminación, también son estos los que se benefician más de encontrarse en un mes de verano.

<sup>34</sup>Las condiciones climáticas asociadas a verano, junto con la menor inercia de  $PM_{2.5}$  pueden estar detrás de que este efecto sólo se produzca para este contaminante.

Tabla 6  
Efectos de la Contaminación, por temporada

	Hosp. NBBA 0 años	Hosp. NBBA 0-18 años	Hosp. NBBA 0 años	Hosp. NBBA 0-18 años
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Panel (a): Heterogeneidad de PM<sub>10</sub> por invierno/verano</i>				
PM <sub>10</sub> 24-hrs	22.4474*** (6.6236)	2.3205*** (0.6522)	22.2989*** (6.5470)	2.3117*** (0.6430)
Definición de verano 1 x PM <sub>10</sub>	-2.0128 (1.2609)	-0.1786 (0.1243)		
Definición de verano 2 x PM <sub>10</sub>			-1.5176 (1.1721)	-0.1277 (0.1159)
Sanderson-Windmeijer (SW) Prueba F, primera etapa	35.16	35.16	35.39	35.39
Stock-Yogo Valores críticos	16.38	16.38	16.38	16.38
<i>Panel (b): Heterogeneidad de PM<sub>2.5</sub> por invierno/verano</i>				
PM <sub>2.5</sub> 24-hrs	29.0561*** (9.0673)	3.0842*** (0.9053)	29.0398*** (9.0178)	3.0807*** (0.9016)
Definición de verano 1 x PM <sub>2.5</sub>	-8.4008** (3.6612)	-0.7956** (0.3675)		
Definición de verano 2 x PM <sub>2.5</sub>			-5.7568* (3.2224)	-0.5180 (0.3272)
Sanderson-Windmeijer (SW) Prueba F, primera etapa	28.50	28.50	28.35	28.35
Stock-Yogo Valores críticos	16.38	16.38	16.38	16.38
<i>Panel (c): Heterogeneidad de CO 8-hrs por invierno/verano</i>				
CO 8-hrs	785.7116*** (210.9583)	81.4879*** (21.2092)	794.8242*** (211.8570)	82.7462*** (21.2894)
Definición de verano 1 x CO	-124.2930 (90.6327)	-10.5106 (9.1374)		
Definición de verano 2 x CO			-42.3597 (84.5562)	-1.7267 (8.6159)
Sanderson-Windmeijer (SW) Prueba F, primera etapa	40.16	40.16	38.56	38.56
Stock-Yogo Valores críticos	16.38	16.38	16.38	16.38

*Nota:* Esta tabla presenta las estimaciones de variables instrumentales del efecto de la contaminación sobre la tasa de hospitalizaciones NBBA de niños entre 0-18 años y de 0 años, por cada 100,000 niños, controlando por estaciones de invierno/verano. Incluyo dos definiciones de verano para ver si las estimaciones difieren según la temporada de la estación. Cada columna dentro de cada panel corresponde a una regresión separada. Reporto el estadístico F de Sanderson-Windmeijer para evaluar la fuerza de los instrumentos de la primera etapa del modelo. Para descartar el sesgo debido a la debilidad de los instrumentos, estas estadísticas deben estar por encima del valor crítico Stock-Yogo. Los errores estándar (enumerados debajo de cada estimación entre paréntesis) se agrupan a nivel de semana. Significancia estadística se indica mediante: \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.10.

## 5.4. Efectos No Lineales

Para explorar no linealidades en la relación de contaminación y hospitalizaciones, utilizo uno de los enfoques más explotados en la literatura econométrica. Ese enfoque consiste en discretizar los niveles de contaminación mediante el uso de *splines*<sup>35</sup>, para este enfoque utilizo una grilla de diferentes umbrales para los niveles de contaminación. En la Tabla 7 presento los resultados con umbrales en 57 y 151  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $\text{PM}_{10}$ , 19 y 83  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $\text{PM}_{2.5}$ , 0.41 y 2.32 ppb para  $\text{CO}$ <sup>36</sup>.

Tabla 7  
*Explorando No-linealidades*

	Hosp. NBBA 0 años	Hosp. NBBA 0-18 años
	(1)	(2)
<i>Panel (a): Spline lineal <math>\text{PM}_{10}</math></i>		
$\text{PM}_{10}$ 24-hrs entre 0 y 57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-20.1652 (35.9654)	-2.3021 (3.4928)
$\text{PM}_{10}$ 24-hrs entre 57 y 151 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	19.7765** (9.5361)	1.9904** (0.9043)
<i>Panel (b): Spline lineal <math>\text{PM}_{2.5}</math></i>		
$\text{PM}_{2.5}$ 24-hrs entre 0 y 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	5.7545 (93.1080)	-4.8458 (10.7900)
$\text{PM}_{2.5}$ 24-hrs entre 19 y 83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	26.1742* (14.2012)	3.6852*** (1.2949)
<i>Panel (c): Spline lineal <math>\text{CO}</math></i>		
$\text{CO}$ 8-hrs entre 0 y 410 ppb	-6,789.5474 (19,934.9969)	-304.4372 (1,776.6211)
$\text{CO}$ 8-hrs entre 410 y 2,320 ppb	614.2054*** (236.7774)	61.6221*** (23.4272)

*Nota:* En esta tabla, exploramos si existe una no linealidad en la relación entre concentración de contaminación y la tasa de hospitalizaciones NBBA de niños entre 0-18 años y de 0 años, por cada 100,000 niños. Cada columna dentro de cada panel corresponde a una regresión separada. Incluyo un *spline* lineal en los contaminantes para capturar el efecto no lineal de la contaminación. El conjunto de instrumentos consta de tres variables dummy que denotan una inversión térmica, de dos a tres inversiones térmicas y de cuatro a siete inversiones térmicas durante la semana. Los errores estándar (enumerados debajo de cada estimación entre paréntesis) clusterizados a nivel de semana. Significancia estadística se indica mediante: \*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.10$ .

<sup>35</sup>En esencia, los *splines* son polinomios por partes, unidos en puntos llamados nudos.

<sup>36</sup>Estos valores corresponden a los percentiles 25% y 99% respectivamente de cada contaminante y además cuentan con suficientes observaciones como se puede observar en su histograma de frecuencias, ver Figura B8 del Anexo. Además el percentil 25% se encuentra muy cerca de los niveles recomendados de calidad del aire de la Organización mundial de la salud (OMS).

Para que la estimación sea posible en el marco de IV, redefino la variable instrumental número de inversiones térmicas en una semana, para que se transforme en tres variables dummy, la primera corresponde a una sola inversión térmica en la semana, la segunda, de dos a tres inversiones térmicas en una semana y la última de cuatro a siete inversiones térmicas durante la semana, de esta manera contamos con suficientes instrumentos para las variables de contaminación, más los *splines*.

Los resultados para  $PM_{10}$ , indican resultados negativos para valores de contaminación entre 0 y  $57 \mu g/m^3$ , sin embargo estas estimaciones no son estadísticamente significativa, y para valores entre 57 y  $151 \mu g/m^3$ , el impacto de la contaminación es positivo, de hecho la estimación puntual se encuentra muy cercana a los valores encontrados de la Tabla 5 y Tabla C2. Al realizar una prueba de diferencias de medias obtuve un  $p - value = 0.31$  para los infantes entre 0-18 años y  $p - value = 0.36$  para 0 años, por lo tanto, no rechazamos la hipótesis nula que ambos coeficientes (ambos segmentos) son iguales. Los resultados para  $PM_{2.5}$  son similares con  $p - value = 0.47$  entre 0-18 años y  $p - value = 0.84$  para 0 años. Los resultados para CO, indican una historia similar, en concreto no es posible afirmar de manera categórica que existe una relación no lineal entre la contaminación atmosférica y la tasa de hospitalizaciones NBBA.

Para resumir, explotando una fuente de variación exógena como la estabilidad atmosférica encuentro un impacto significativo lineal en la tasa de hospitalizaciones NBBA por 100,000 niños/as, debido a la exposición de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  y CO. Por el contrario, una vez que se incorporan *splines* para modelar una relación no lineal en la exposición a los contaminantes, no encuentro evidencia contundente de un impacto positivo de esta no linealidad de la exposición de contaminantes sobre la tasa de hospitalización NBBA. Por otro lado, el hecho de que todos los coeficientes de las estimaciones del primer tramo de contaminación sean no significativos, podría indicar que en concentraciones bajas de contaminación, esta no tiene un impacto significativo sobre la tasa de hospitalización NBBA, mayor investigación alrededor de este punto es necesario para tener conclusiones más sólidas.

## 6. Explorando Canales y Pruebas de Robustez

### 6.1. Pruebas de Especificación

En esta sección, comparo los resultados bajo una modelación distinta de la matriz de varianzas y covarianzas. Estos resultados se encuentran en la Tabla C3 del Anexo. Las estimaciones utilizan la misma especificación que la estimación de la Tabla 5 para hospitalizados entre 0-18 años y de 0 años por separado. Utilizando una clusterización por comuna da como resultado errores estándares menores que una clusterización a nivel semanal, posiblemente por la correlación del error a través del espacio/tiempo, luego sin importar el nivel de clusterización las estimaciones puntuales son todas significativas.

En segundo lugar en la Tabla C4 del Anexo, presento controles alternativos a la estimación de IV de la Tabla 5. En la columna (1) presento un modelo sin tendencias lineales semanales, en la columna (2) un modelo sin temperatura mínima ni temperatura máxima como controles, en la columna (3) presento un modelo con efectos fijos mensuales por comuna y la columna (4) es el modelo final, para fines comparativos. Excluir tendencias o controles de temperatura máxima/mínima dan resultados cuantitativamente similares a los de la columna (4), sin embargo los resultados si incluimos un efecto temporal mensual con interacción

de comuna, produce estimaciones no significativas para  $PM_{2.5}$ , pero si para  $PM_{10}$  y CO aunque solo al nivel de confianza de 90%, además los resultados son cuantitativamente menores que los de la columna (4).

## 6.2. Efectos Heterogéneos

En esta sección, exploro efectos heterogéneos de la concentración de contaminantes sobre la tasa de hospitalizaciones por 100,000 niños, basado en el rango etario de los pacientes, según el área geográfica de residencia, distinguiendo en el sistema de previsión (Fonasa o Isapre) como proxy de estatus socioeconómico, y el género del paciente. El método de estimación es análoga a la utilizada en la sección 5.2.

### 6.2.1. Edad

La literatura médica ha documentado que la exposición ha contaminantes difiere según la edad de las personas (Kim et al., 2004), (Plunkett et al., 1992), siendo uno de los grupos más susceptible el rango etario de menor edad.

Los efectos de mayor magnitud se encuentran en el grupo de 0 años<sup>37</sup>, tanto para la estimación de FE y de IV, por ejemplo para este grupo de infantes un incremento  $1 \mu g/m^3$  en el promedio semanal de  $PM_{10}$ , conlleva a 21.56 hospitalizaciones de NBBA por 100,000 niños/as en una semana en Santiago. Estas estimaciones corroborarían los mecanismos de acción que fueron detallados en la sección 2.1, siendo los niños más pequeños los más vulnerables a los efectos adversos de la contaminación del aire, porque la mayoría de los alvéolos se forman después del nacimiento y por una mayor ventilación por minuto por parte de los niños de 0 años.

En la Tabla C5 del Anexo presento los resultados de un efecto desagregado de la contaminación atmosférica según edades, la columna (1) estima los resultados de la Tabla 5 para fines comparativos.

Primero, en conjunto todas las estimaciones son estadísticamente significativas, independientemente del contaminante que se utilice. Para el rango de edad 0 años (columna (3)) y 1-4 años (columna (4)), las estimaciones puntuales son significativamente mayores a nuestra estimación de comparación, pero también son menos precisas, con errores estándar mayores. Si excluimos a los infantes de 0 años de nuestra estimación inicial (columna (2)) nos encontramos que las estimaciones puntuales son de hecho menores, por ejemplo un incremento de  $1 \mu g/m^3$  en el promedio semanal de  $PM_{10}$ , conlleva a 0.74 hospitalizaciones de NBBA por 100,000 niños/as entre 1-18 años en una semana, mientras que para niños entre 0-18 años el mismo aumento provoca 2.16 hospitalizaciones de NBBA por 100,000 niños/as, indicando la importancia del grupo de 0 años. Adicionalmente, las estimaciones para el grupo de pacientes entre 5-12 años (columna (5)) y 13-18 años (columna (6)) años presentan coeficientes estadísticamente no significativas. En conclusión todos estos resultados, señalan que el efecto de la contaminación en el aire es mayor en niños de menor edad, particularmente en los menores de 5 años, como indica la literatura médica, aunque también estas estimaciones son más imprecisas, especialmente para el grupo de 0 años.

---

<sup>37</sup>Ver Tabla C2 en el Anexo.

### 6.2.2. Área

En esta sección espero un impacto mayor de la contaminación en el aire sobre individuos que viven en comunas con mayores niveles de contaminación. La Figura B9 en el Anexo muestra el promedio de contaminación de PM<sub>10</sub>, para 2013-2019. En primer lugar el promedio de estos años supera los valores recomendados de calidad de aire para todas las comunas, además las comunas que se encuentran en el noroeste y sur oeste son las más afectadas por la contaminación en el aire.

En la Tablas C6 y C7 se presentan las estimaciones por área geográfica desagregada, basado en la organización del sistema de salud de Santiago, siendo estos el Sistema de Salud Norte (SSMN), Occidente (SSMOC), Oriente (SSMOR), Sur (SSMS) y Sur-Oriente (SSMSO). El resultado más sorprendente es que las comunas donde los niveles de contaminación en el aire son mayores, es precisamente el sector donde los resultados no son significativos para los infantes de 0 años y para los de 0-18 años son significativos al 90% de confianza, estos resultados pueden deberse, en parte, a una menor población infantil en el área, sumado a una menor cantidad de observaciones (alrededor de 1,700)<sup>38</sup>, o peor aún, que los infantes en esa área están sujetos a altos niveles de contaminación atmosférica, pero no estén acudiendo a los centros hospitalarios, produciéndose un problema a la salud pública. Por otro lado el impacto de la contaminación en el aire es mayor en el sector sur oriente, sector en el cuál se concentra gran parte de la población de Santiago, con comunas muy grandes como Puente Alto y La Florida.

### 6.2.3. Previsión

La literatura describe que las personas de ingresos económicos menores presentan niveles de salud inferiores (Adler and Ostrove, 1999), las causas subyacentes quedan descritas en una mayor exposición a actividades que actúan en detrimento de la salud, tales como una dieta basada en alimentos ultra procesados, exposición a mayores contaminantes; también afecta desde un punto de vista psicológico y a la acumulación de habilidades cognitivas, que afecta a su acumulación de capital humano y productividad futura (Currie and Stabile, 2003).

Lamentablemente no cuento con información detallada de la familia y del paciente respecto a la esfera socioeconómica, es por tal motivo que pretendo utilizar la pertenencia al seguro de salud, como variable proxy de estatus socioeconómico del paciente<sup>39</sup>. Me permito utilizar esta aproximación, porque en Chile el seguro FONASA clasifica a sus afiliados de acuerdo a su ingreso imponible<sup>40</sup> en los siguientes tramos:

- Tramo A: carentes de recursos, por lo tanto no tienen copagos asociados a las atenciones de salud que requiera.
- Tramo B: ingreso menor al sueldo mínimo, tampoco tiene copago asociado.

---

<sup>38</sup>Sin embargo, la cantidad de observaciones para el sector sur-oriente igual ronda las 1,700, mientras que del resto de sectores sobrepasan las 2,300 observaciones.

<sup>39</sup>Cabe resaltar que el cálculo de las tasas de hospitalización con seguro FONASA o Isapre se realiza con el número total de niños que vive una comuna y corte etario, no cuento con información detallada del número de niños que viven en una comuna con seguro FONASA o Isapre

<sup>40</sup>A partir de septiembre de 2022, las y los beneficiarios de FONASA pertenecientes a los tramos C y D, obtienen gratuidad en todas sus atenciones en el sistema público de salud, sumándose a quienes son parte de los tramos A y B.



- Tramos C y D: ingreso mayor al sueldo mínimo, tienen copagos establecidos.

Es decir, en FONASA, el financiamiento de las prestaciones (es decir, lo que aporta FONASA o la parte del valor de la prestación que no sale del bolsillo del paciente) se encuentra relacionada con el tramo en que se encuentre (A, B, C o D). En cambio, al cotizar en Isapres, se destina de manera obligatoria el 7% del sueldo mensual bruto. Si además el plan que contrata la persona tiene un valor superior al de la cotización legal obligatoria, ya sea porque entrega mayores bonificaciones o prestadores, el usuario deberá pagar un costo adicional. Consecuentemente, espero encontrar que los efectos de la contaminación sean mayores para las personas que tienen contratado un seguro FONASA vs un seguro privado Isapre, señalando que los efectos de la contaminación son distintos según el nivel socioeconómico (Jans et al., 2018; Graff Zivin, 2013).

En las Tablas C8, C9 y C10 del Anexo se presentan los resultados de estas estimaciones, distinguiendo entre distintos rangos etarios y según tramos de FONASA. El efecto de la contaminación sobre la tasa de hospitalización NBBA para el grupo con seguro FONASA de 0-18 años es de 1.42 para PM<sub>10</sub>, mientras que para su contraparte de seguro privado (Isapre), es de 0.49, este efecto menor para el seguro privado se repite independientemente del contaminante y del rango etario.

Por otro lado, desagregando en tramos de FONASA, encuentro que el efecto de la contaminación es mayor para los de FONASA A, mientras que los efectos sobre los tramos B, C, D son inclusive menores que para los del seguro privado, pero también existen menores datos y no todos son estadísticamente significativos al 99%, es por tal motivo que agrupo los tramos B, C, D. La estimación de este grupo se encuentra en la columna (7) de las Tablas C9 y C10, en ambos casos la estimación puntual es menor que la estimación de FONASA A, pero mayor que la del seguro Isapre.

Finalmente, presento en la Figura 3 la estimación puntual por IV del impacto de la contaminación en el aire, según corte etario y pertenencia de seguro privado o público. Primero es necesario señalar que todas las estimaciones para edades entre 5-18 años son no significativas, además se puede apreciar que en todos los casos estas estimaciones son prácticamente iguales a cero. En segundo lugar y como indicamos en la sección 6.2.1, el mayor impacto de la contaminación se encuentra en los infantes menores de 5 años. En tercer lugar y reafirmando las conclusiones de esta sección, el impacto de la contaminación es mayor para individuos con seguro FONASA versus con seguro Isapre, para los tres contaminantes.

Esto nos permite concluir que los efectos de la contaminación sobre la tasa de hospitalizaciones NBBA son mayores (efecto negativo en salud) en niños con seguro FONASA vs Isapre, y en lo particular el efecto es más severo para los niños del tramo A de FONASA. Además, si aceptamos la pertenencia a un seguro privado o público como proxy de estatus socioeconómico, podemos afirmar que los efectos negativos de la contaminación en el aire son mayores para las familias de menores ingresos económicos.

#### 6.2.4. Género

En la literatura médica un factor de riesgo para las enfermedades respiratorias es el género del paciente (Gehring et al., 2002; Peters et al., 1999), ser varón representa un factor de riesgo. Es por esta razón, que en esta sección exploro si los efectos de la contaminación en el aire sobre la tasa de hospitalización NBBA, son distintos entre hombre y mujer.

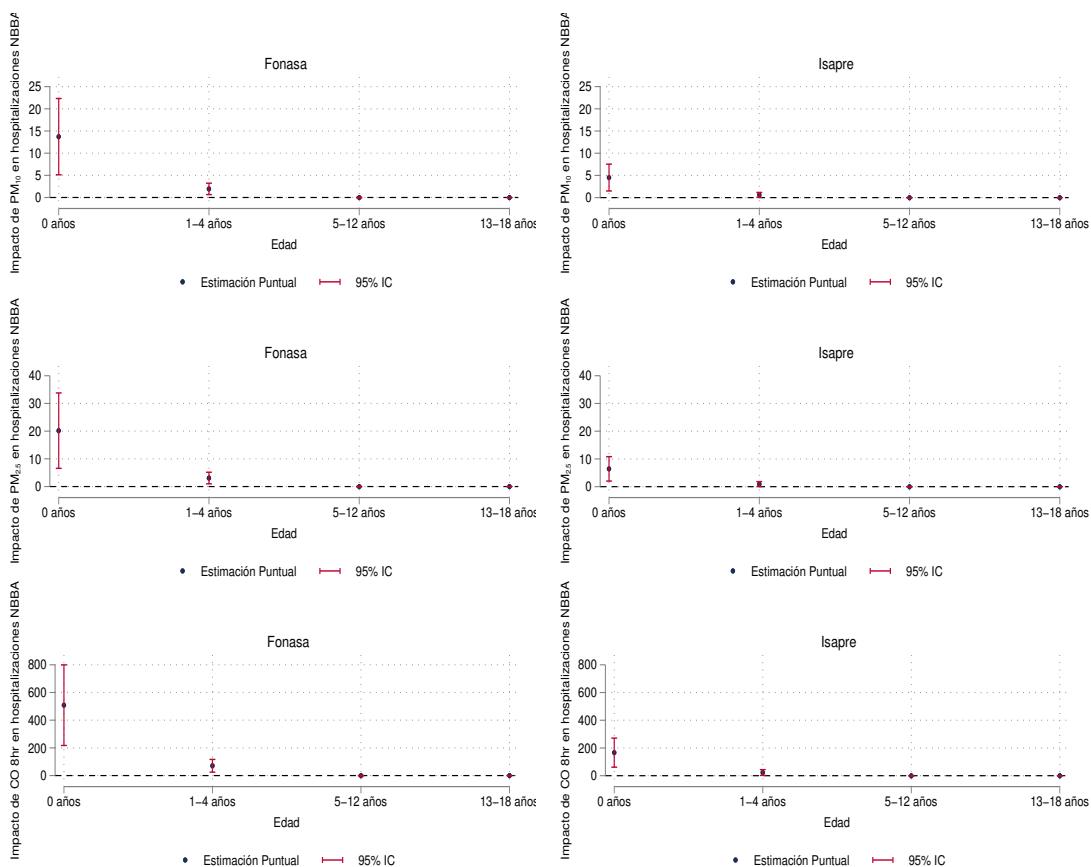


Fig. 3. Estimación IV, Edad y Seguro

Nota: La Figura estima por IV el impacto de las concentraciones semanales promedio para el máximo promedio diario de 24 horas de PM<sub>10</sub>, el promedio máximo diario de 24 horas de PM<sub>2.5</sub>, el promedio máximo diario de 8 horas de CO, sobre la Tasa de Hospitalizaciones NBBA por 100,000 niños/as con su respectivo Intervalo de Confianza al 95%, por rango etario y seguro de pertenencia (Fonasa o Isapre).

Los resultados se encuentran en la Tabla C11. Se puede denotar que las estimaciones para los hombres son significativamente mayores que para las mujeres, independientemente de la edad. En concreto un aumento de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el promedio semanal de  $\text{PM}_{10}$ , conlleva a 1.11 hospitalizaciones de NBBA por 100,000 niños/as entre 0-18 años en una semana en Santiago, para los hombres, mientras que para las mujeres el mismo aumento provoca 0.75 hospitalizaciones de NBBA por 100,000 niños/as. En conclusión, el efecto de la contaminación sobre la tasa de hospitalizaciones es mayor (efecto negativo) si el individuo es hombre.

### 6.3. Prueba de Placebo

Un supuesto clave para la identificación a través de IV es el cumplimiento de la condición de exclusión. Este supuesto me permite utilizar la estabilidad atmosférica medida a través de inversiones térmicas como variación exógena válida al nivel de contaminación (calidad del aire). Sin embargo, una amenaza potencial a este supuesto es que la estabilidad atmosférica puede estar directamente vinculado con la tasa de hospitalizaciones NBBA, a través de un vínculo sobre características no observadas, que también determinan a la variable dependiente, lo cual invalidaría nuestras estimaciones.

Para investigar la validez de este supuesto, en esta sección analizo el efecto de la contaminación sobre distintas enfermedades respiratorias/digestivas (Sheldon and Sankaran, 2017) que no tienen vínculo aparente con la contaminación del aire. Estas estimaciones pueden ser vistas como pruebas de placebo, porque si encontramos que la contaminación en el aire tiene efectos sobre estas variables, entonces nuestro instrumento sería inválido.

Presento en las Tablas C12, C13 del Anexo los resultados de las pruebas de placebo. La columna (3) corresponde a enfermedades que únicamente en casos extraordinarios requieren hospitalización, motivo por el cual el coeficiente no es significativo, mientras que las estimaciones de la columna (4) y (5) corresponden en parte a nuestra variable NBBA, por otro lado las columnas (6) y (7) son enfermedades respiratorias que no deberían estar asociadas a la contaminación atmosférica, como Enfermedades de las cuerdas vocales, Enfermedades crónicas de las amígdalas y las adenoides, enfisemas, etc., finalmente la columna (8) corresponde a enfermedades del sistema digestivo. La estimación de las columnas (6-8) nos indica que la contaminación atmosférica no tiene efecto sobre la tasa de hospitalizaciones de otras enfermedades de las vías respiratorias superiores (OTRS), tasa de hospitalizaciones por enfermedades respiratorias inferiores crónicas (ERIC) y tampoco sobre la tasa de hospitalizaciones por enfermedades digestivas. Este resultado nos sugiere que nuestro instrumento estaría capturando la variación exógena de la calidad del aire.

### 6.4. Costo Económico

En esta sección, monetizo el beneficio económico de una reducción del 25% en el nivel promedio de  $\text{PM}_{10}$  sobre la tasa de hospitalizaciones NBBA por 100,000 niños/as entre 0-18 años. Esta reducción teórica en la concentración de contaminación corresponde a la diferencia entre la comuna más contaminada en promedio, comparando contra la comuna más con el aire más limpio, para el periodo 2013-2019<sup>41</sup>. Existen varias investigaciones Janke (2014); Zepeda et al. (2018); Moretti and Neidell (2011) que documentan los costos asociados a la hospitalización infantil por motivos respiratorios. Me baso en las estimaciones de Zepeda et al.

---

<sup>41</sup>Con los resultados de la interpolación, obtuve que la comuna de La Florida es la menos contaminada para  $\text{PM}_{10}$  y la comuna con mayor contaminación es Quilicura, para el mismo contaminante.

(2018) para realizar un cálculo de los beneficios de una reducción, primero porque este estudio se realiza en Chile, es relativamente reciente y se realizó para enfermedades respiratorias infantiles.

Utilizo el valor predicho de tasa de hospitalizaciones NBBA por 100,000 niños del modelo de contaminantes de variables instrumentales de la Tabla 5, para simular una reducción del 25% con respecto al valor de la media de PM<sub>10</sub>, luego hago uso del efecto anual de PM<sub>10</sub> de la Tabla 8, actualizando los valores de la UF y de tipo de cambio a valores actuales. El cálculo es el siguiente:

$$\underbrace{CLP446,141}_{\text{Valor Hosp.}} \times \underbrace{\frac{UF34,690.4}{UF24,627.1}}_{\text{Inflación entre 2015-2022}} \times \underbrace{2,136}_{\text{Aumento Tasa Hosp.}} / \underbrace{936.3}_{\text{T/C}} \quad (5)$$

Tabla 8  
*El Efecto de la Contaminación anual y elasticidades*

	Tasa hosp. 0-18 años	Tasa hosp. 0 años
Media Anual	5,603.12	43,498.89
Media PM10	77.15	77.15
Efecto anual PM10	112.45	1,121.12
Elasticidad PM10	1.56	2.01
Media PM2.5	32.39	32.39
Efecto anual PM2.5	165.34	1,622.89
Elasticidad PM2.5	0.95	1.21
Media CO	0.81	0.81
Efecto anual CO	6,028.70	59,944.31
Elasticidad CO	0.87	1.12

*Nota:* Esta tabla presenta un resumen de los efectos de la contaminación atmosférica sobre la tasa de hospitalizaciones NBBA por 100,000 niños, separando entre pacientes de 0-18 años y de 0 años, estimando las elasticidades y los efectos anuales de la contaminación. Todos los efectos obtenidos en esta tabla corresponden a nuestra estimación de la Tabla 5 de variables instrumentales. Significancia estadística se indica mediante: \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.10.

Entonces una reducción del 25% del nivel promedio anual de PM<sub>10</sub> conduce a beneficios asociados de USD 1.4 millones al año en los costos directos de hospitalizaciones NBBA para el grupo de 0-18 años. Entiendo este beneficio obtenido de reducir la concentración promedio de PM<sub>10</sub> como una cota inferior de los beneficios, por al menos cinco razones. En primer lugar la estimación de beneficios se realizada con la reducción de costos directos de la hospitalización, tales como costos de exámenes, costos día cama, costos de medicamentos; existen otros costos asociados tales una menor productividad futura de los afectados a través de una menor acumulación de capital humano (Bharadwaj et al., 2017; Graff Zivin, 2013), asistencia colegio (Currie et al., 2009). En segundo lugar las licencias médicas otorgadas para el cuidado de los infantes tiene consecuencias en la oferta laboral de los tutores (Hanna and Oliva, 2015), particularmente de las mujeres. En tercer lugar solo podemos contar con hospitalizaciones constituidas, existen situaciones donde las personas se ven afectadas por la exposición de contaminantes pero no acuden a centros hospitalarios, lo cual deriva en un deterioro general de la salud de la persona. En cuarto lugar, esta documentado que la contaminación está asociada

con otro tipo de patologías, distintas a las respiratorias, por último las hospitalizaciones ingresadas pueden derivar en el fallecimiento del paciente.<sup>42</sup>.

## 7. Conclusiones

El presente trabajo trata de contribuir a la vasta literatura de efectos de la contaminación sobre la salud de las personas. En lo particular añade el uso de una metodología de identificación que me permite encontrar efectos causales, entre la relación de contaminación y la tasa de hospitalizaciones respiratorias infantiles para la ciudad de Santiago de Chile entre 2013-2019. Encuentro una correlación muy fuerte entre la contaminación en el aire y la tasa de hospitalizaciones.

Para determinar si la relación es causal, utilizo una estrategia de identificación de variables instrumentales. Exploto la plausible variación exógena que provee la estabilidad atmosférica a través de inversiones térmicas para instrumentar a los contaminantes  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  y CO. Los resultados de IV sugieren un impacto lineal positivo (negativo para la salud) de todos los contaminantes sobre la tasa de hospitalizaciones NBBA por 100,000 niños, con efectos estacionales diferentes para  $PM_{2.5}$  únicamente. Este resultado sugiere un beneficio económico directo de reducir los niveles de contaminación: por ejemplo una disminución de un 25% en el promedio de  $PM_{10}$  conduciría a USD 1.4 millones de beneficios al año, sobre el costo directo de las hospitalizaciones.

Para evaluar los efectos heterogéneos de la contaminación en el aire sobre la tasa de hospitalización NBBA, realizo una desagregación según edad, área geográfica, seguro de salud (estatus socioeconómico) y género. Encuentro un impacto mayor en los grupos de menor edad, particularmente en el grupo 0-4 años. Por otro lado, los efectos de la contaminación son mayores para el sector sur oriente. Además, encuentro evidencia que los resultados son mayores para los individuos con seguro de salud FONASA, señalando impactos diferentes según nivel económico. Por otro lado, encuentro que el ser hombre representa un factor de riesgo adicional. Finalmente, realizando una prueba de falsificación, para agregar robustez a nuestros resultados, no encuentro un impacto de la contaminación en el aire sobre las enfermedades digestivas y respiratorias (OTRS, ERIC). Los resultados encontrados proveen evidencia causal para promover política pública de reducción del nivel de contaminación en el aire.

---

<sup>42</sup>Para este último punto se puede utilizar una medida de valoración de vida para contemplar estos costos adicionales, sin embargo considero que no es el foco del trabajo. El Ministerio de Desarrollo Social de Chile establece el valor estadístico de la vida entre USD 0.4 y 1.1 millones.

## References

- Adler, Nancy E and Joan M Ostrove (1999) “Socioeconomic status and health: what we know and what we don’t,” *Annals of the New York academy of Sciences*, 896 (1), 3–15.
- Anderson, Michael L (2020) “As the wind blows: The effects of long-term exposure to air pollution on mortality,” *Journal of the European Economic Association*, 18 (4), 1886–1927.
- Angrist, Joshua D and Jörn-Steffen Pischke (2009) *Mostly harmless econometrics: An empiricist’s companion*: Princeton university press.
- Antonioli, Simone (2017) “Lapse rate inversions in the Po valley: a 30-year overview.”
- Arceo, Eva, Rema Hanna, and Paulina Oliva (2016) “Does the effect of pollution on infant mortality differ between developing and developed countries? Evidence from Mexico City,” *The Economic Journal*, 126 (591), 257–280.
- Beard, John D, Celeste Beck, Randall Graham, Steven C Packham, Monica Traphagan, Rebecca T Giles, and John G Morgan (2012) “Winter temperature inversions and emergency department visits for asthma in Salt Lake County, Utah, 2003–2008,” *Environmental health perspectives*, 120 (10), 1385–1390.
- Bharadwaj, Prashant, Matthew Gibson, Joshua Graff Zivin, and Christopher Neilson (2017) “Gray matters: Fetal pollution exposure and human capital formation,” *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 4 (2), 505–542.
- Brumberg, Heather L, Catherine J Karr, Aparna Bole et al. (2021) “Ambient air pollution: health hazards to children,” *Pediatrics*, 147 (6).
- Brümmer, Burghard and Markus Schultze (2015) “Analysis of a 7-year low-level temperature inversion data set measured at the 280 m high Hamburg weather mast,” *Meteorol. Z*, 24, 481–494.
- Cameron, A Colin and Pravin K Trivedi (2005) *Microeconometrics: methods and applications*: Cambridge university press.
- Casasempere, Pablo Valenzuela (2017) “Air Pollution and Road Safety.”
- Chay, Kenneth and Michael Greenstone (2003a) “Air quality, infant mortality, and the Clean Air Act of 1970.”
- Chay, Kenneth Y and Michael Greenstone (2003b) “The impact of air pollution on infant mortality: evidence from geographic variation in pollution shocks induced by a recession,” *The quarterly journal of economics*, 118 (3), 1121–1167.
- Currie, Janet, Eric A Hanushek, E Megan Kahn, Matthew Neidell, and Steven G Rivkin (2009) “Does pollution increase school absences?” *The Review of Economics and Statistics*, 91 (4), 682–694.
- Currie, Janet and Matthew Neidell (2005) “Air pollution and infant health: what can we learn from California’s recent experience?” *The Quarterly Journal of Economics*, 120 (3), 1003–1030.
- Currie, Janet and Mark Stabile (2003) “Socioeconomic status and child health: why is the relationship stronger for older children?” *American Economic Review*, 93 (5), 1813–1823.

- Dardati, Evangelina, Ramiro de Elejalde, and Eugenio P 2021 Giolito (2021) “On the Short-Term Impact of Pollution: The Effect of PM 2.5 on Emergency Room Visits.”
- Dell, Melissa, Benjamin F Jones, and Benjamin A Olken (2014) “What do we learn from the weather? The new climate-economy literature,” *Journal of Economic Literature*, 52 (3), 740–98.
- Deryugina, Tatyana, Garth Heutel, Nolan H Miller, David Molitor, and Julian Reif (2019) “The mortality and medical costs of air pollution: Evidence from changes in wind direction,” *American Economic Review*, 109 (12), 4178–4219.
- Deschenes, Olivier (2014) “Temperature, human health, and adaptation: A review of the empirical literature,” *Energy Economics*, 46, 606–619.
- Deschênes, Olivier and Michael Greenstone (2011) “Climate change, mortality, and adaptation: Evidence from annual fluctuations in weather in the US,” *American Economic Journal: Applied Economics*, 3 (4), 152–85.
- Deschenes, Olivier, Michael Greenstone, and Joseph S Shapiro (2017) “Defensive investments and the demand for air quality: Evidence from the NOx budget program,” *American Economic Review*, 107 (10), 2958–89.
- Deschenes, Olivier and Enrico Moretti (2009) “Extreme weather events, mortality, and migration,” *The Review of Economics and Statistics*, 91 (4), 659–681.
- Dherani, Mukesh, Daniel Pope, Maya Mascarenhas, Kirk R Smith, Martin Weber, and Nigel Bruce (2008) “Indoor air pollution from unprocessed solid fuel use and pneumonia risk in children aged under five years: a systematic review and meta-analysis,” *Bulletin of the World Health Organization*, 86, 390–398C.
- Franck, Ulrich, Arne Marian Leitte, and Peter Suppan (2014) “Multiple exposures to airborne pollutants and hospital admissions due to diseases of the circulatory system in Santiago de Chile,” *Science of the total Environment*, 468, 746–756.
- Gehring, Ulrike, J Cyrus, G Sedlmeir et al. (2002) “Traffic-related air pollution and respiratory health during the first 2 yrs of life,” *European respiratory journal*, 19 (4), 690–698.
- Graff Zivin, Joshua (2013) “Environment, health, and human capital,” *Journal of Economic Literature*, 51 (3), 689–730.
- Graff Zivin, Joshua and Matthew Neidell (2012) “The impact of pollution on worker productivity,” *American Economic Review*, 102 (7), 3652–73.
- Greenstone, Michael and Rema Hanna (2014) “Environmental regulations, air and water pollution, and infant mortality in India,” *American Economic Review*, 104 (10), 3038–72.
- Guarnieri, Michael and John R Balmes (2014) “Outdoor air pollution and asthma,” *The Lancet*, 383 (9928), 1581–1592.
- Hanna, Rema and Paulina Oliva (2015) “The effect of pollution on labor supply: Evidence from a natural experiment in Mexico City,” *Journal of Public Economics*, 122, 68–79.

- Jacobson, Mark Z (2002) *Atmospheric pollution: history, science, and regulation*: Cambridge University Press.
- Janke, Katharina (2014) “Air pollution, avoidance behaviour and children’s respiratory health: Evidence from England,” *Journal of health economics*, 38, 23–42.
- Jans, Jenny, Per Johansson, and J Peter Nilsson (2018) “Economic status, air quality, and child health: Evidence from inversion episodes,” *Journal of health economics*, 61, 220–232.
- Joly, Daniel and Yves Richard (2019) “Frequency, intensity, and duration of thermal inversions in the Jura Mountains of France,” *Theoretical and Applied Climatology*, 138 (1), 639–655.
- Karr, Catherine J, Carole B Rudra, Kristin A Miller, Timothy R Gould, Timothy Larson, Sheela Sathyanarayana, and Jane Q Koenig (2009) “Infant exposure to fine particulate matter and traffic and risk of hospitalization for RSV bronchiolitis in a region with lower ambient air pollution,” *Environmental research*, 109 (3), 321–327.
- Kim, Janice J et al. (2004) “Ambient air pollution: health hazards to children.,” *Pediatrics*, 114 (6), 1699–1707.
- Knittel, Christopher R, Douglas L Miller, and Nicholas J Sanders (2016) “Caution, drivers! Children present: Traffic, pollution, and infant health,” *Review of Economics and Statistics*, 98 (2), 350–366.
- Krueger, Alan B (1999) “Experimental estimates of education production functions,” *The quarterly journal of economics*, 114 (2), 497–532.
- Kudamatsu, Masayuki, Torsten Persson, and David Strömberg (2012) “Weather and infant mortality in Africa,” *Available at SSRN 2210191*.
- Kurmi, Om P, Sean Semple, Padam Simkhada, W Cairns S Smith, and Jon G Ayres (2010) “COPD and chronic bronchitis risk of indoor air pollution from solid fuel: a systematic review and meta-analysis,” *Thorax*, 65 (3), 221–228.
- Lleras-Muney, Adriana (2010) “The needs of the army using compulsory relocation in the military to estimate the effect of air pollutants on children’s health,” *Journal of Human Resources*, 45 (3), 549–590.
- Luechinger, Simon (2014) “Air pollution and infant mortality: a natural experiment from power plant desulfurization,” *Journal of health economics*, 37, 219–231.
- Milanzi, Edith B, Gerard H Koppelman, Henriette A Smit, Alet H Wijga, Marieke Oldenwening, Judith M Vonk, Bert Brunekreef, and Ulrike Gehring (2018) “Air pollution exposure and lung function until age 16 years: the PIAMA birth cohort study,” *European Respiratory Journal*, 52 (3).
- Moretti, Enrico and Matthew Neidell (2011) “Pollution, health, and avoidance behavior evidence from the ports of Los Angeles,” *Journal of human Resources*, 46 (1), 154–175.
- Neidell, Matthew (2009) “Information, avoidance behavior, and health the effect of ozone on asthma hospitalizations,” *Journal of Human resources*, 44 (2), 450–478.



- Osses, Axel, Laura Gallardo, and Tania Faundez (2013) “Analysis and evolution of air quality monitoring networks using combined statistical information indexes,” *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 65 (1), 19822.
- Ostro, Bart D, Gunnar S Eskeland, Jose M Sanchez, and Tarhan Feyzioglu (1999) “Air pollution and health effects: A study of medical visits among children in Santiago, Chile.,” *Environmental health perspectives*, 107 (1), 69–73.
- O’Neill, Marie S, Dana Loomis, and Victor H Borja-Aburto (2004) “Ozone, area social conditions, and mortality in Mexico City,” *Environmental Research*, 94 (3), 234–242.
- Peters, John M, Edward Avol, William Navidi et al. (1999) “A study of twelve Southern California communities with differing levels and types of air pollution: I. Prevalence of respiratory morbidity,” *American journal of respiratory and critical care medicine*, 159 (3), 760–767.
- Plopper, Charles G and Michelle V Fanucchi (2000) “Do urban environmental pollutants exacerbate childhood lung diseases?.”
- Plunkett, LM, D Turnbull, and JV Rodricks (1992) “Differences between adults and children affecting exposure assessment,” *Similarities and differences between children and adults: implications for risk assessment*, 79–94.
- Pope III, C Arden, Michelle C Turner, Richard T Burnett, Michael Jerrett, Susan M Gapstur, W Ryan Diver, Daniel Krewski, and Robert D Brook (2015) “Relationships between fine particulate air pollution, cardiometabolic disorders, and cardiovascular mortality,” *Circulation research*, 116 (1), 108–115.
- Rivera, Nathaly M, Cristobal Ruiz-Tagle, and Elisheba Spiller (2021) “The health benefits of solar power generation: Evidence from Chile,” *Environmental Defense Fund Economics Discussion Paper Series, EDF EDP*, 21–02.
- Ruiz-Tagle, Juan Cristobal (2018) *Essays on the Effects of Air Pollution on Human Health* Ph.D. dissertation, University of Maryland, College Park.
- Ruiz Tagle, Juan Cristobal (2019) “Causal Effects of Ambient Air Pollution on Health: Evidence from Santiago, Chile.”
- Ruiz-Tagle, Juan Cristobal and Sebastián Miller (2019) “Ambient Air Pollution and Infant Mortality in Emerging Economies: Evidence from Santiago, Chile.”
- Sandoval, Bárbara, Tatiana Reyes, and Manuel Oyarzún (2019) “Mecanismos de los efectos nocivos para la salud de la contaminación atmosférica proveniente de incendios forestales,” *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, 35 (1), 49–57.
- Schlenker, Wolfram and W Reed Walker (2016) “Airports, air pollution, and contemporaneous health,” *The Review of Economic Studies*, 83 (2), 768–809.
- Sheldon, Tamara L and Chandini Sankaran (2017) “The impact of Indonesian forest fires on Singaporean pollution and health,” *American Economic Review*, 107 (5), 526–29.
- Stock, James H, Mark W Watson et al. (2003) *Introduction to econometrics*, 104: Addison Wesley Boston.

- Stock, James H and Motohiro Yogo (2002) “Testing for weak instruments in linear IV regression.”
- Tiebout (1956) “A pure theory of local expenditures,” *Journal of political economy*, 64 (5), 416–424.
- Ubilla, Carlos and Karla Yohannessen (2017) “Contaminación atmosférica efectos en la salud respiratoria en el niño,” *Revista Médica Clínica Las Condes*, 28 (1), 111–118.
- WHO (2016) “Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease.”
- WHO, World Health Organization (2021) *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*: World Health Organization.
- Zepeda, Juan, Jorge Vásquez, and Luis Delpiano (2018) “Costos directos de infección respiratoria baja por VRS en menores de un año,” *Revista chilena de pediatría*, 89 (4), 462–470.

## A. Datos Apéndice

Tabla A1  
*Tramos FONASA 2022*

<b>Tramo A</b>	Personas carentes de recursos y personas migrantes. Causantes de subsidio familiar (Ley 18.020).
<b>Tramo B</b>	Personas que perciben un ingreso imponible mensual menor o igual a \$400.000.
<b>Tramo C</b>	Personas que perciben un ingreso imponible mensual mayor a \$400.000. y menor o igual a \$584.000.
<b>Tramo D</b>	Personas que perciben un ingreso imponible mensual mayor a \$584.000.

*Nota:* Esta tabla contiene los tramos de FONASA en donde agrupa a sus beneficiarios según su ingreso en los Tramos A, B, C y D. Esto es fijado cada año según las variaciones del ingreso mínimo.

Tabla A2  
*Comunas 10 km de estación de monitoreo*

Cerrillos	Las Condes	Quilicura
Cerro Navia	Lo Barnechea	Quinta Normal
Conchalí	Lo Espejo	Recoleta
El Bosque	Lo Prado	Renca
Estación Central	Macul	San Bernardo
Huechuraba	Maipú	San Joaquín
Independencia	Ñuñoa	San Miguel
La Cisterna	Pedro Aguirre Cerda	San Ramón
La Florida	Peñalolén	Santiago
La Granja	Providencia	Vitacura
La Pintana	Pudahuel	
La Reina	Puente Alto	

*Nota:* Esta tabla contiene las comunas que son objeto de estudio, el centroide censal de las presentes comunas se encuentra dentro de un radio de 10 kilómetros a la estación de monitoreo.

Tabla A3

*Clasificación internacional de enfermedades respiratorias, 10.<sup>a</sup> edición*

---

---

(J00-J06)	Infecciones agudas de las vías respiratorias superiores
(J09-J19)	Gripe y Neumonía
(J20-J22)	Enfermedades respiratorias inferiores agudas
(J30-J39)	Otras enfermedades de las vías respiratorias superiores
(J40-J47)	Enfermedades respiratorias inferiores crónicas
(J60-J70)	Enfermedades del pulmón debidas a agentes externos
(J80-J84)	Otras enfermedades respiratorias principalmente afectando al intersticio
(J85-J86)	Condiciones supurativas y necróticas del tracto respiratorio inferior
(J90-J94)	Otras enfermedades de la pleura
(J95-J99)	Otras enfermedades del sistema respiratorio

---

---

*Nota:* Esta tabla contiene la CIE-10 Capítulo X: Enfermedades del sistema respiratorio.

Tabla A4  
*Neumonía, bronquitis, bronquiolitis, asma CIE-10*

---



---

*Panel (a): Neumonía*

J120 Neumonía debida a adenovirus  
J121 Neumonía debida a virus sincicial  
J122 Neumonía debida a virus parainfluenza  
J123 Neumonía debida a metaneumovirus humano  
J128 Neumonía debida a otros virus  
J129 Neumonía viral, no especificada  
J13X Neumonía debida a streptococcus pneumoniae  
J14X Neumonía debida a haemophilus influenzae  
J150 Neumonía debida a klebsiella pneumoniae  
J151 Neumonía debida a pseudomonas  
J152 Neumonía debida a estafilococos  
J153 Neumonía debida a estreptococos del grupo B  
J154 Neumonía debida a otros estreptococos  
J155 Neumonía debida a escherichia coli  
J156 Neumonía debida a otras bacterias  
J157 Neumonía debida a mycoplasma pneumoniae  
J158 Otras neumonías bacterianas  
J159 Neumonía bacteriana, no especificada  
J160 Neumonía debida a clamidias  
J168 Neumonía debida a otros microorganismos  
J170 Neumonía en enfermedades bacterianas  
J173 Neumonía en enfermedades parasitarias  
J178 Neumonía en otras enfermedades clasificadas en otra parte  
J180 Bronconeumonía, no especificada  
J181 Neumonía lobar, no especificada  
J182 Neumonía hipostática, no especificada  
J188 Otras neumonías, de microorganismo no especificado  
J189 Neumonía, no especificada

*Panel (b): Bronquitis y Bronquiolitis*

J200 Bronquitis aguda debida a mycoplasma pneumoniae  
J201 Bronquitis aguda debida a haemophilus influenzae  
J202 Bronquitis aguda debida a estreptococos  
J203 Bronquitis aguda debida a virus coxsackie  
J204 Bronquitis aguda debida a parainfluenza  
J205 Bronquitis aguda debida a sinsicial respiratorio  
J206 Bronquitis aguda debida a rinovirus  
J207 Bronquitis aguda debida a virus echo  
J208 Bronquitis aguda debida a otros microorganismos  
J209 Bronquitis aguda, no especificada  
J210 Bronquiolitis aguda debida a virus sincicial  
J211 Bronquiolitis aguda debida a metaneumovirus humano  
J218 Bronquiolitis debida a otros microorganismos  
J219 Bronquiolitis aguda, no especificada  
J22X Infección aguda no especificada, vías inferiores

*Panel (c): Asma*

J450 Asma predominantemente alérgica  
J451 Asma no alérgica  
J458 Asma Mixta  
J459 Asma, no especificada  
J46X Estado asmático

---



---

*Nota:* Esta tabla contiene la CIE-10 Capítulo X: Enfermedades del sistema respiratorio, para la construcción de la variable de tasa de hospitalizaciones NBBA.

Tabla A5  
*Niveles recomendados de las guías de calidad del aire*

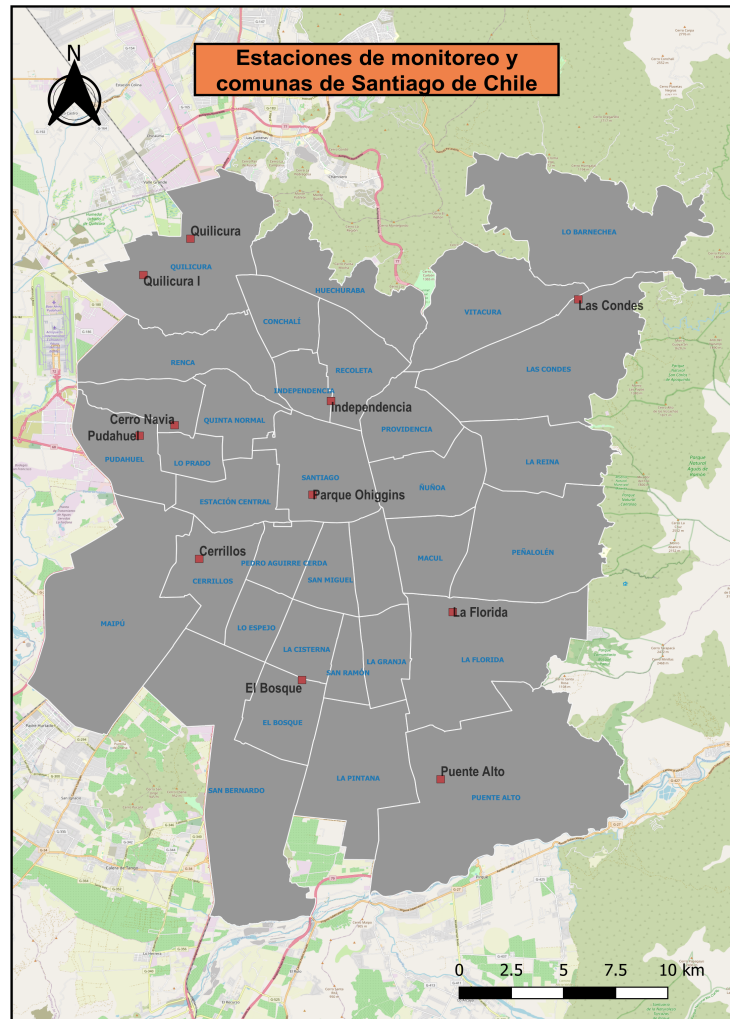
<b>Contaminante</b>	<b>Tiempo Promedio <sup>b</sup></b>	<b>Nivel Recomendado</b>
<b>PM<sub>2.5</sub>, µg/m<sup>3</sup></b>	Anual	5
	24 horas	15
<b>PM<sub>10</sub>, µg/m<sup>3</sup></b>	Anual	15
	24 horas	45
<b>CO ppm <sup>a</sup></b>	24 horas	3.492

*Nota:* Esta tabla contiene las recomendaciones de la OMS 2021. .

<sup>a</sup> Los datos para CO se reportan en µg/m<sup>3</sup> pero se realizó la transformación hacia ppm.

<sup>b</sup> Los objetivos intermedios se encuentran en la [Guía mundial de la OMS de calidad del aire](#)

## B. Figuras Apéndice



*Fig. B1. Estaciones de monitoreo y comunas de Santiago de Chile*

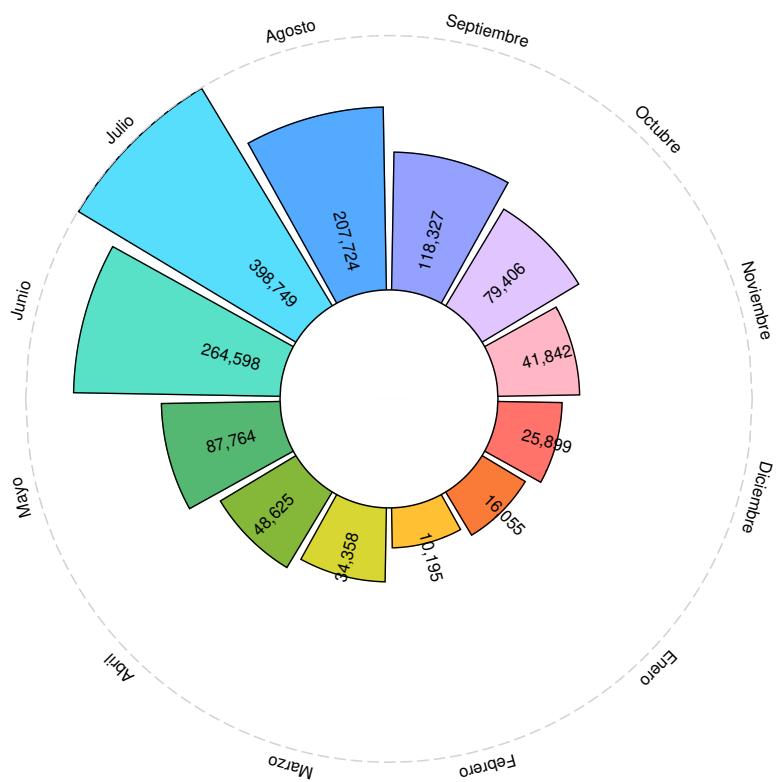
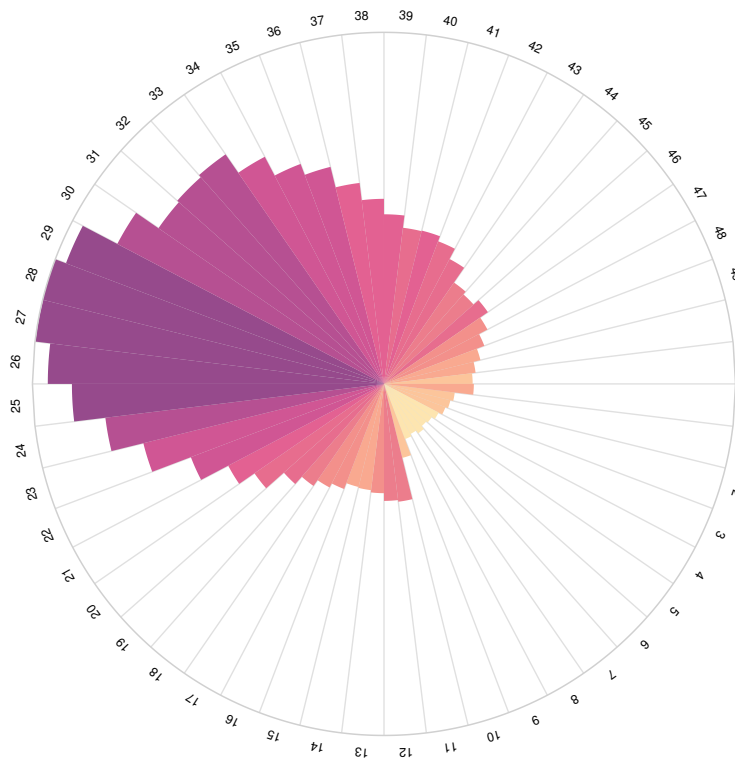
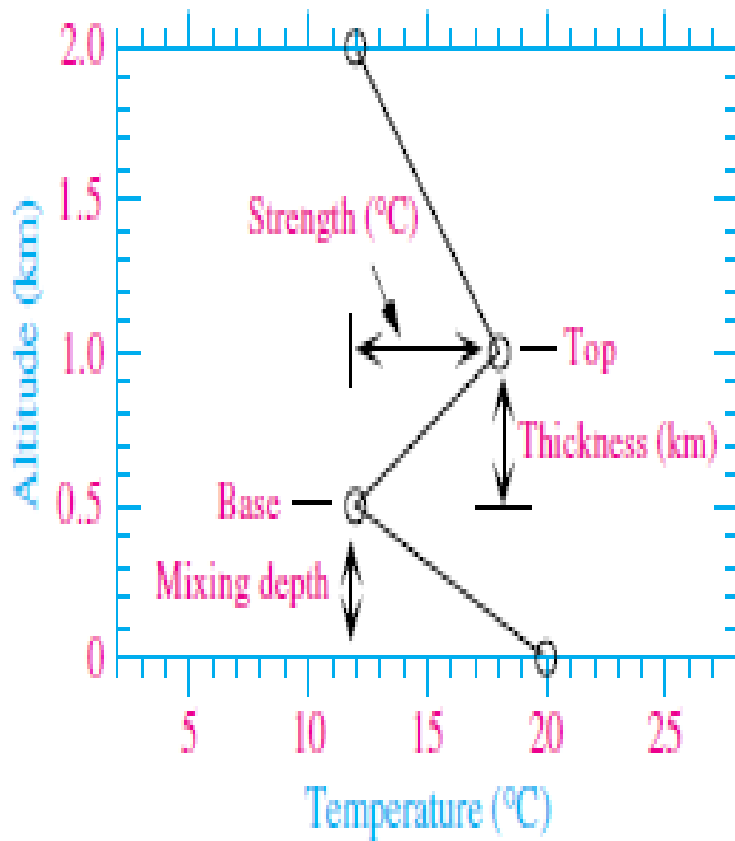


Fig. B2. Tasa de Hospitalizaciones NBBA 2013-2019, por meses





*Fig. B3. Tasa de Hospitalizaciones NBBA 2013-2019, por semanas*



*Fig. B4. Inversión térmica, temperatura y altitud*

*Nota:* La Figura muestra el fenómeno de inversión térmica junto con distintas mediciones de la misma. A medida que aumentamos de altitud, la temperatura desciende, sin embargo es partir de que esa tendencia se quiebra, se manifiesta el fenómeno de inversión térmica. Fuente: (Jacobson, 2002)

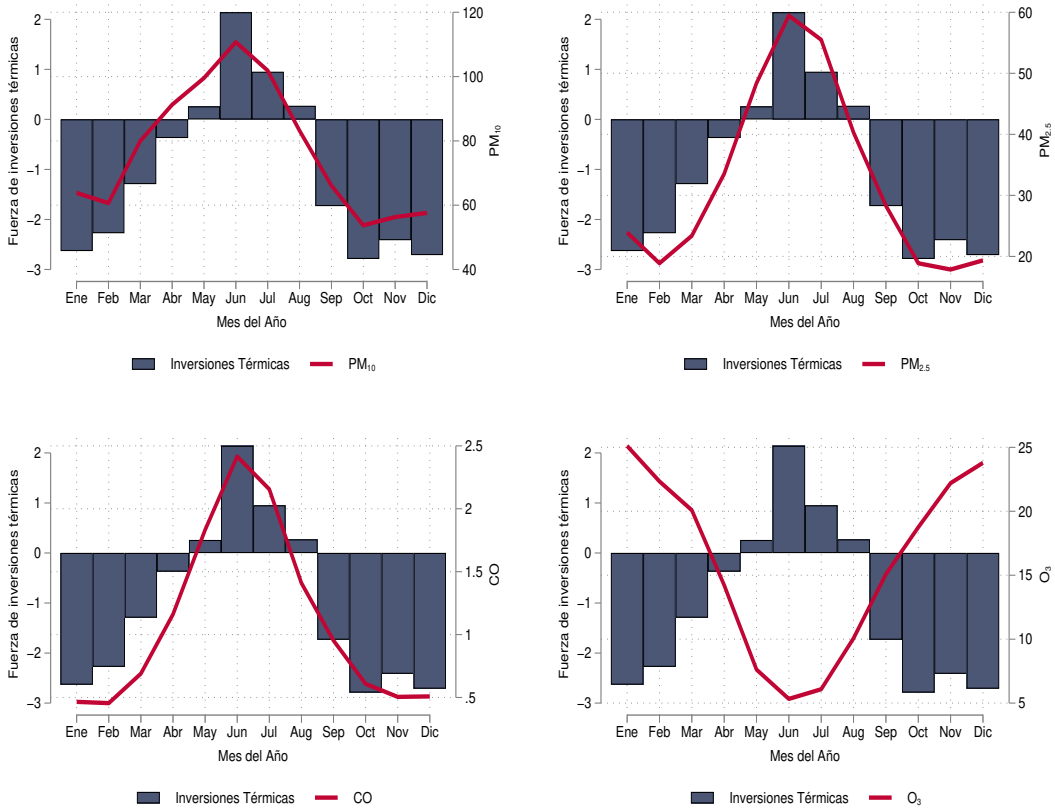
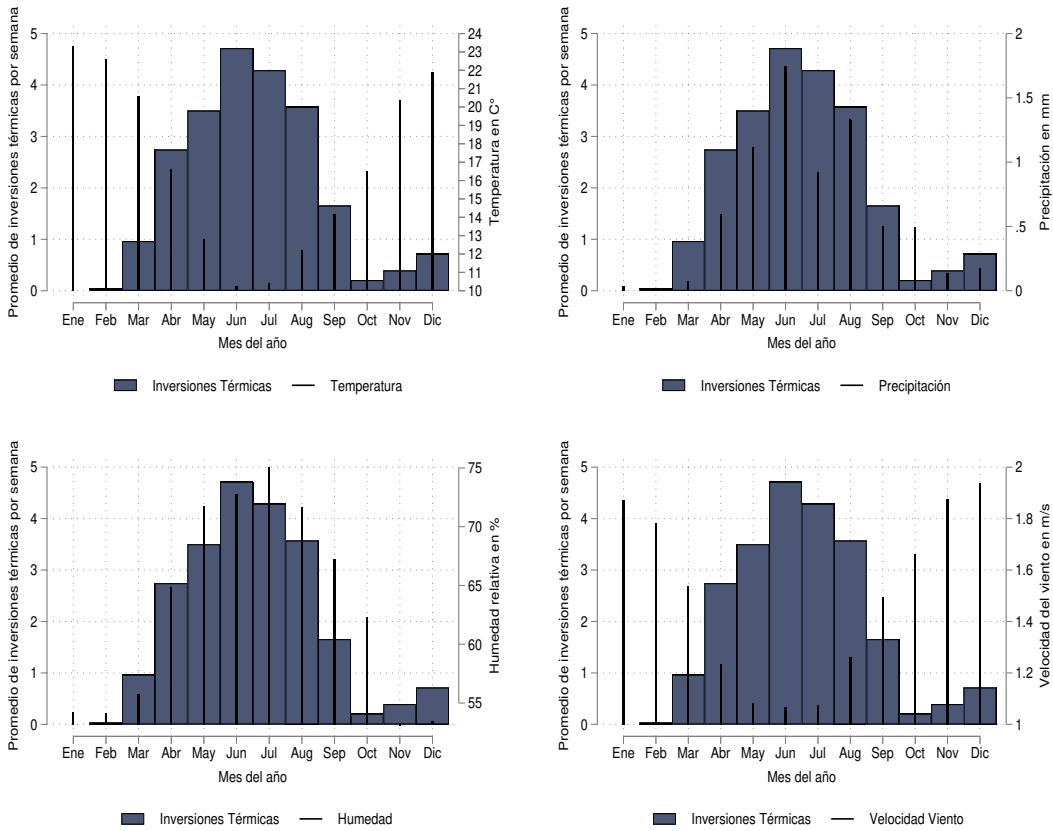


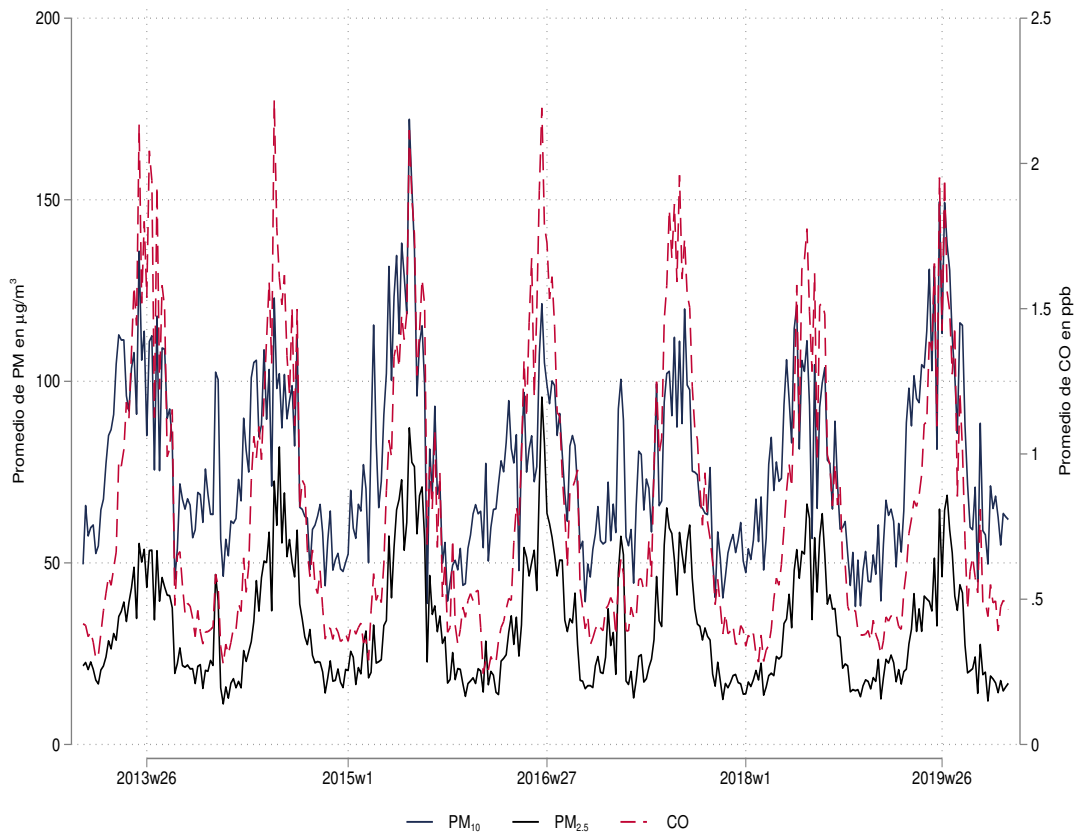
Fig. B5. Fuerza Inversión y contaminantes

Nota: La Figura compara la fuerza de las inversiones térmicas (barras) acumulados de manera mensual, con la concentración semanal promedio acumulado de manera mensual (línea roja) para el máximo de promedio diario de 24 horas de  $PM_{10}$ , el promedio máximo diario de 24 horas de  $PM_{2.5}$ , el promedio diario de 8 horas de CO y el promedio máximo diario de 24 horas de  $O_3$  en Santiago de Chile 2013-2019.



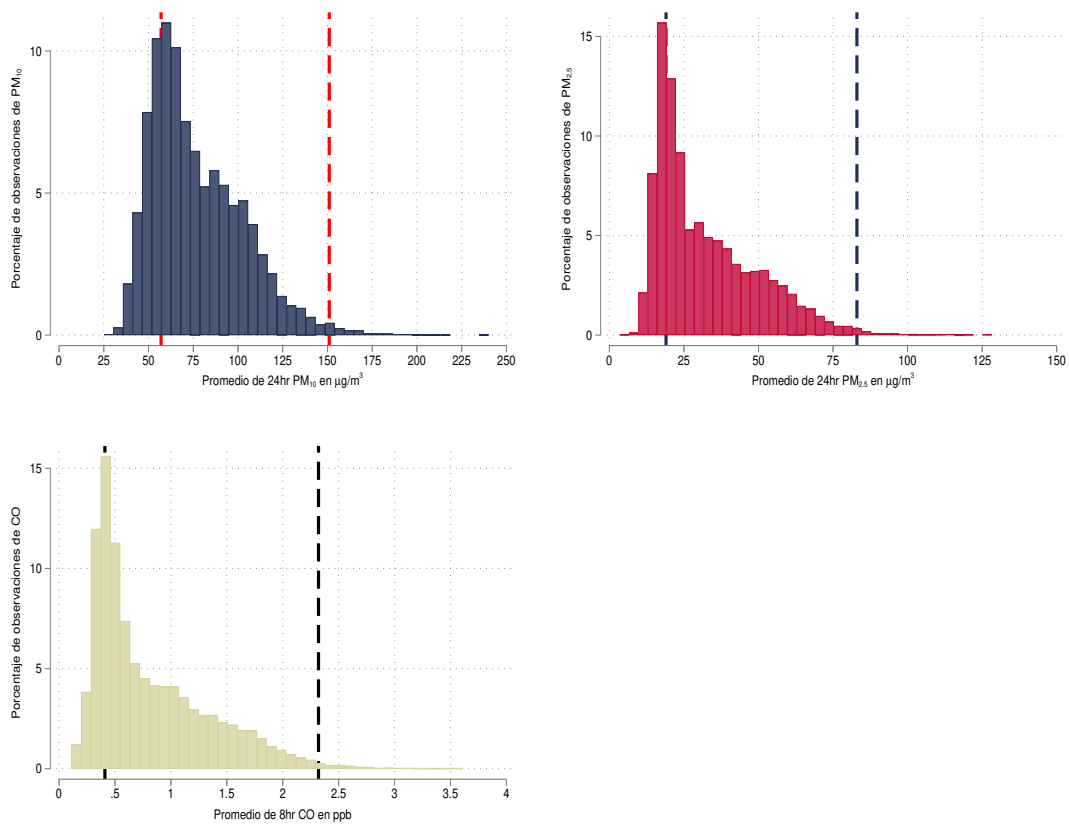
*Fig. B6. Inversiones Térmicas y Variables Climáticas*

*Nota:* La Figura compara el número promedio de inversiones por semana, acumuladas de manera mensual (barras) contra la temperatura media mensual en grados Celsius, la precipitación media mensual en litros de agua por metro cuadrado de terreno, la humedad relativa del aire en %, y la velocidad del viento en metros por segundo (picos) para cada mes del año, en Santiago de Chile 2013-2019.



*Fig. B7. Correlación entre Contaminantes*

*Nota:* La Figura compara las concentraciones semanales promedio para el máximo promedio diario de 24 horas para  $PM_{10}$ , el promedio máximo diario de 24 horas de  $PM_{2.5}$ , el promedio máximo diario de 8 horas de CO, en Santiago de Chile 2013-2019.



*Fig. B8. Histograma de Contaminantes*

*Nota:* La Figura muestra la distribución de las concentraciones semanales promedio para el máximo promedio diario de 24 horas para PM<sub>10</sub>, el promedio máximo diario de 24 horas de PM<sub>2.5</sub>, el promedio diario de 8 horas de CO para, en Santiago de Chile 2013-2019. Las líneas verticales punteadas, corresponden a los valores de los nudos de los *splines*, ubicados en 57 y 151  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM<sub>10</sub>, 19 y 83  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM<sub>2.5</sub>, 0.41 y 2.32 ppb para CO, estos valores corresponden a los percentiles 25% y 99% respectivamente.

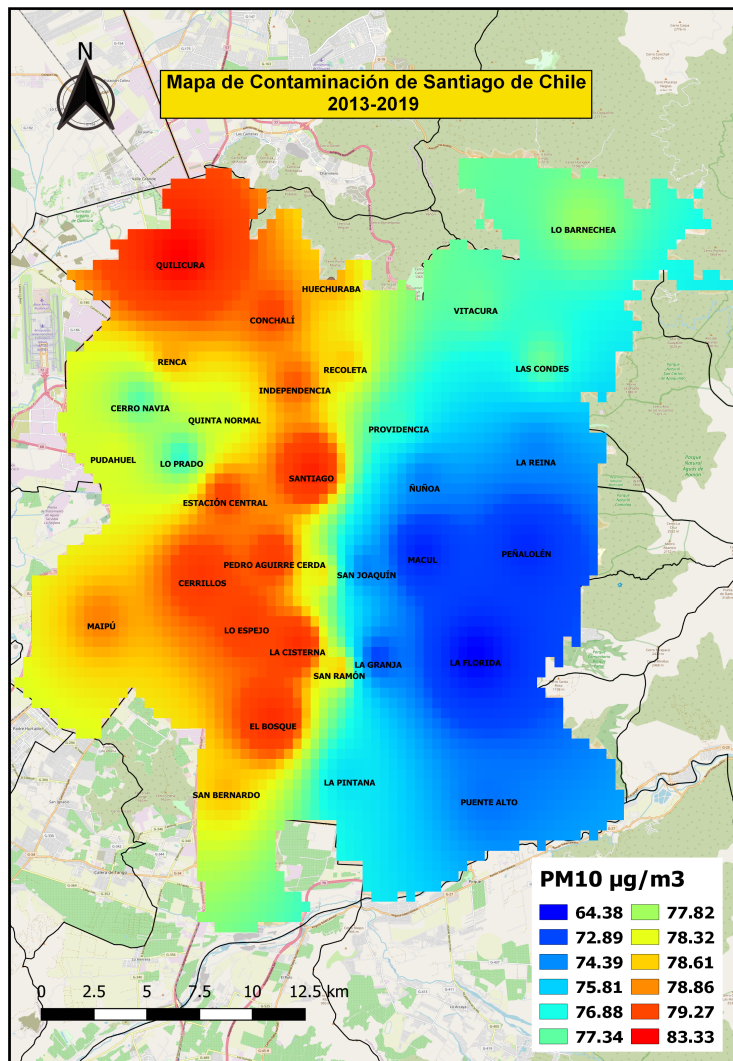


Fig. B9. Promedio Contaminación  $\text{PM}_{10}$ , 2013-2019, por área geográfica

## C. Tablas Apéndice

Tabla C1  
*Test de diferencia de Medias, por inversión térmica*

	Diferencia de Media	t-value
Infecciones Respiratorias NBBA	-125.78	-55.85
Infecciones Respiratorias Totales	-146.48	-56.77
Infecciones agudas de las vías respiratorias superiores	-1.08	-8.99
Gripe y Neumonía	-67.54	-47.41
Enfermedades respiratorias inferiores agudas	-40.57	-46.47
Otras enfermedades de las vías respiratorias superiores	1.50	3.24
Enfermedades respiratorias inferiores crónicas	-1.86	-9.35
Material Particulado 24-hrs PM <sub>10</sub>	-30.48	-92.26
Material Particulado 24-hrs PM <sub>2,5</sub>	-20.33	-91.93
Monóxido de carbono 8-hrs CO	-0.96	-101.31
Ozono 24-hrs O <sub>3</sub>	9.19	90.14
Temperatura 24-hrs	6.32	92.31
Temperatura máxima 24-hrs	5.97	86.24
Temperatura mínima 24-hrs	6.33	87.92
Humedad 24-hrs	-10.22	-55.14
Velocidad viento 24-hrs	0.53	63.09
Precipitación 24-hrs	-0.36	-11.46

*Nota:* Esta tabla contiene un test de diferencia de medias para las variables claves en el análisis de regresión. Las variables de Infecciones respiratorias están construidas a partir de la Clasificación internacional de enfermedades, 10.<sup>a</sup> edición (CIE-10). Datos de hospitalizaciones son informados por el Departamento de Estadísticas e Información de Salud del Ministerio de Salud - Gobierno de Chile (<http://deis.minsal.cl>). Los datos de contaminación y meteorológicas fueron recolectados del Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire del Ministerio del Medio Ambiente - Gobierno de Chile (<http://sinca.mma.gob.cl>) y también de la Dirección General de Aeronáutica Civil - Dirección Meteorológica de Chile (<http://www.meteochile.gob.cl>). Los datos de las inversiones térmicas fueron construidos a partir de la información de la Dirección Meteorológica de Chile.



Tabla C2  
*Efecto de la Contaminación sobre las Hospitalizaciones Respiratorias*

	FE 1-18 años (1)	FE 0 años (2)	IV 1-18 años (3)	IV 0 años (4)
Material Particulado 24-hrs PM <sub>10</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.4215*** (0.0852)	9.2015*** (1.9685)	0.7469*** (0.2759)	21.5601*** (6.4403)
Material Particulado 24-hrs PM <sub>2.5</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.5694*** (0.1556)	17.9965*** (3.5724)	1.1261** (0.4401)	31.2095*** (9.7854)
Monóxido de carbono 8-hrs CO partes por billón (ppb)	24.5450*** (3.9151)	657.0334*** (101.1276)	27.4161*** (9.9226)	797.2487*** (214.2893)
Efectos Fijos Bimensuales x comuna FE	✓	✓	✓	✓
Efectos Fijos comunales	✓	✓	✓	✓
Controles Metereológicos	✓	✓	✓	✓
Tendencias Semanales-comuna	✓	✓	✓	✓

*Nota:* Esta tabla presenta las estimaciones de efectos fijos y variables instrumentales del efecto de la contaminación sobre la tasa de hospitalizaciones por cada 100,000 niños entre 0-18 años y 1-18 años por causas respiratorias asociadas a la contaminación en el aire. Todas las especificaciones controlan por los efectos fijos bimensuales por comuna, efectos fijos de comuna, tendencias semanales específicas de la comuna y controles de variables climáticas. En la estimación de variables instrumentales, el número de inversiones térmicas por semana es el instrumento utilizado. Los controles meteorológicos son polinomios de cuarto grado para la temperatura media durante la semana, temperaturas máximas y mínimas durante la semana, medidas de precipitación, humedad y velocidad del viento. Cada columna dentro cada panel corresponde a una regresión separada. Los errores estándar (entre paréntesis) están clusterizados a nivel de semana. Significancia estadística: \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.10.

Tabla C3  
Inferencia Estadística

	Cluster-Comuna Hosp. NBBA 0-18 años (1)	Cluster-Comuna Hosp. NBBA 0 años (2)	Cluster-Semana Hosp. NBBA 0-18 años (3)	Cluster-Semana Hosp. NBBA 0 años (4)
Material Particulado 24-hrs PM <sub>10</sub>	2.1624*** (0.2100)	21.5601*** (2.7465)	2.1624*** (0.7518)	21.5601*** (7.8107)
Material Particulado 24-hrs PM <sub>2.5</sub>	3.1796*** (0.3159)	31.2095*** (4.3584)	3.1796*** (1.0943)	31.2095*** (11.2892)
Monóxido de carbono 8-hrs CO	80.1807*** (7.7427)	797.2487*** (100.1299)	80.1807*** (25.9553)	797.2487*** (250.2184)
Bimensual x comuna FE	✓	✓	✓	✓
Efectos Fijos comunales	✓	✓	✓	✓
Controles Metereológicos	✓	✓	✓	✓
Tendencias Semanales-comuna	✓	✓	✓	✓

*Nota:* Esta tabla presenta las estimaciones de variables instrumentales del efecto de la contaminación sobre la tasa de hospitalizaciones NBBA de niños entre 0-18 años y de 0 años, por cada 100,000 niños, comparando los resultados utilizando clusterización a nivel de comuna y clusterización por semana. Todas las especificaciones controlan por los efectos fijos bimensuales por comuna, efectos fijos de comuna, tendencias semanales específicas de la comuna y controles de variables climáticas. Los controles meteorológicos son polinomios de cuarto grado para la temperatura media durante la semana, temperatura máxima y mínima durante la semana, precipitación, humedad y velocidad del viento. Cada coeficiente corresponde a una regresión separada. Significancia estadística se indica mediante: \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.10.

Tabla C4  
*Controles Alternativos de la estimación de IV*

	IV No tendencias (1)	No Temp. min/max (2)	IV FE mensual x comuna (3)	IV Mod. Final (4)
PM <sub>10</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24-hrs	2.0915*** (0.6220)	2.1621*** (0.5801)	1.2002* (0.6765)	2.1624*** (0.6362)
PM <sub>2.5</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24-hrs	3.1060*** (0.9541)	3.2365*** (0.9145)	1.7778 (1.1208)	3.1796*** (0.9757)
CO partes por billón (ppb) 8-hrs	77.8231*** (21.1145)	82.7772*** (20.4386)	47.3219* (26.7816)	80.1807*** (21.6506)
Bimensual x comuna FE	✓	✓	✓	✓
Mensual x comuna FE	✓	✓	✓	✓
Efectos Fijos comunales	✓	✓	✓	✓
Controles Metereológicos	✓	✓	✓	✓
Temperatura Min-Max	✓	✓	✓	✓
Tendencias Semanales-comuna				

*Nota:* Esta Tabla explora la robustez de las estimaciones de variables instrumentales, del modelo principal, a distintos conjuntos de variables de control. Cada coeficiente corresponde a una regresión separada. Columna (1) no contempla tendencias lineales semanales, la columna (2) no incluye temperatura mínima ni temperatura máxima dentro del conjunto de controles, la columna (3) utiliza efectos mensuales por comuna dentro de los efectos fijos, mientras que la columna (4) refleja el resultado del modelo base. Significancia estadística se indica mediante: \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.10.

Tabla C5  
*Efectos heterogéneos de la Contaminación sobre las Hospitalizaciones Respiratorias (edad)*

	Hosp. NBBA 0-18 años (1)	Hosp. NBBA 1-18 años (2)	Hosp. NBBA 0 años (3)	Hosp. NBBA 1-4 años (4)	Hosp. NBBA 5-12 años (5)	Hosp. NBBA 13-18 años (6)
PM <sub>10</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24-hrs	2.1624*** (0.6362)	0.7469*** (0.2759)	21.5601*** (6.4403)	3.0110*** (1.0403)	-0.0304 (0.0602)	-0.0186 (0.0115)
PM <sub>2.5</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24-hrs	3.1796*** (0.9757)	1.1261** (0.4401)	31.2095*** (9.7854)	4.6625*** (1.6930)	-0.0631 (0.0948)	-0.0303* (0.0184)
CO partes por billón (ppb) 8-hrs	80.1807*** (21.6506)	27.4161*** (9.9226)	797.2487*** (214.2893)	110.1242*** (37.5571)	-1.2304 (2.2038)	-0.6982 (0.4383)
Efectos Fijos Bimensuales x comuna FE	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Efectos Fijos comunales	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Controles Metereológicos	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tendencias Semanales-comuna	✓	✓	✓	✓	✓	✓

*Nota:* Esta tabla presenta las estimaciones de variables instrumentales del efecto de la contaminación sobre la tasa de hospitalizaciones NBBA por cada 100,000 niños, para distintos cortes etarios. Todas las especificaciones controlan por los efectos fijos bimensuales por comuna, efectos fijos de comuna, tendencias semanales específicas de la comuna y controles de variables climáticas. Los controles meteorológicos son polinomios de cuarto grado para la temperatura media durante la semana, temperatura máxima y mínima durante la semana, precipitación, humedad y velocidad del viento. Cada coeficiente corresponde a una regresión separada. Los errores estándar (entre paréntesis) están clusterizados a nivel de semana. Significancia estadística se indica mediante: \*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.10$ .

Tabla C6  
*Efectos heterogéneos de la Contaminación sobre las Hospitalizaciones Respiratorias (área)*

	SSM Norte 0-18 años (1)	SSM Occ. 0-18 años (2)	SSM Ori. 0-18 años (3)	SSM Sur 0-18 años (4)	SSM Sur-Orie. 0-18 años (5)	Total 0-18 años (6)
PM <sub>10</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24-hrs	1.6824* (0.8987)	1.6814*** (0.5850)	2.7555*** (0.7548)	1.8265*** (0.6103)	3.1627*** (1.1237)	2.1624*** (0.6362)
PM <sub>2.5</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24-hrs	2.5188* (1.4360)	2.8462** (1.1619)	4.3462*** (1.1684)	2.4558*** (0.9208)	4.1657*** (1.5386)	3.1796*** (0.9757)
CO partes por billón (ppb) 8-hrs	81.0902** (35.6015)	62.8562*** (24.2017)	104.4764*** (24.6918)	65.2655*** (20.4032)	112.8847*** (36.4577)	80.1807*** (21.6506)
Efectos Fijos Bimensuales x comuna FE	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Efectos Fijos comunales	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Controles Metereológicos	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tendencias Semanales-comuna	✓	✓	✓	✓	✓	✓

*Nota:* Esta tabla presenta las estimaciones de variables instrumentales del efecto de la contaminación sobre la tasa de hospitalizaciones NBBA de niños entre 0-18 años, por cada 100,000 niños, para distintas áreas geográficas de Santiago. Todas las especificaciones controlan por los efectos fijos bimensuales por comuna, efectos fijos de comuna, tendencias semanales específicas de la comuna y controles de variables climáticas. En la estimación de variables instrumentales, el número de inversiones térmicas por semana es el instrumento utilizado. Los controles meteorológicos son polinomios de cuarto grado para la temperatura media durante la semana, temperatura máxima y mínima durante la semana, precipitación, humedad y velocidad del viento. Los errores estándar (entre paréntesis) están clustringados a nivel de semana. Cada coeficiente corresponde a una regresión separada. Significancia estadística se indica mediante: \*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.10$ .

Tabla C7  
*Efectos heterogéneos de la Contaminación sobre las Hospitalizaciones Respiratorias (área)*

	SSM Norte 0 años (1)	SSM Occ. 0 años (2)	SSM Orié. 0 años (3)	SSM Sur 0 años (4)	SSM Sur-Orié. 0 años (5)	Total 0 años (6)
PM <sub>10</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24-hrs	13.8178 (9.5664)	12.7780** (6.0410)	30.2956*** (7.4728)	16.8266*** (5.9167)	39.5978*** (12.8892)	21.5601*** (6.4403)
PM <sub>2.5</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24-hrs	20.1792 (15.5935)	18.1183 (11.6582)	48.3402*** (11.7949)	22.1591** (8.9067)	52.8879*** (17.2153)	31.2095*** (9.7854)
CO partes por billón (ppb) 8-hrs	687.9068* (385.7779)	438.9243* (247.9542)	1152.4758*** (233.4605)	597.6926*** (199.0297)	1393.5548*** (397.3704)	797.2487*** (214.2893)
Efectos Fijos Bimensuales x comuna FE	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Efectos Fijos comunales	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Controles Metereológicos	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tendencias Semanales-comuna	✓	✓	✓	✓	✓	✓

*Nota:* Esta tabla presenta las estimaciones de variables instrumentales del efecto de la contaminación sobre la tasa de hospitalizaciones NBBA de niños de 0 años, por cada 100,000 niños, para distintas áreas geográficas de Santiago. Todas las especificaciones controlan por los efectos fijos bimensuales por comuna, efectos fijos de comuna, tendencias semanales específicas de la comuna y controles de variables climáticas. En la estimación de variables instrumentales, el número de inversiones térmicas por semana es el instrumento utilizado. Los controles meteorológicos son polinomios de cuarto grado para la temperatura media durante la semana, temperatura máxima y mínima durante la semana, precipitación, humedad y velocidad del viento. Los errores estándar (entre paréntesis) están clusterizados a nivel de semana. Cada coeficiente corresponde a una regresión separada. Significancia estadística se indica mediante: \*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.10$ .

Tabla C8  
*Efectos heterogéneos de la Contaminación sobre las Hospitalizaciones Respiratorias (previsión)*

	Hosp. NBBA Fonasa 0-18 años (1)	Hosp. NBBA Isapre 0-18 años (2)	Hosp. NBBA Fonasa 0 años (3)	Hosp. NBBA Isapre 0 años (4)
PM <sub>10</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24-hrs	1.4232*** (0.4266)	0.4932** (0.1957)	13.7255*** (4.3891)	4.5187*** (1.5431)
PM <sub>2.5</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24-hrs	2.1134*** (0.6745)	0.6996** (0.2920)	20.1719*** (6.9425)	6.4305*** (2.2447)
CO partes por billón (ppb) 8-hrs	52.3167*** (14.4854)	18.1585*** (7.0002)	508.4084*** (148.4135)	166.4719*** (53.4263)
Efectos Fijos Bimensuales x comuna FE	✓	✓	✓	✓
Efectos Fijos comunales	✓	✓	✓	✓
Controles Metereológicos	✓	✓	✓	✓
Tendencias Semanales-comuna	✓	✓	✓	✓

*Nota:* Esta tabla presenta las estimaciones de variables instrumentales del efecto de la contaminación sobre la tasa de hospitalizaciones NBBA de niños entre 0-18 años y de 0 años, por cada 100,000 niños, según el seguro de salud contratado del paciente. Todas las especificaciones controlan por los efectos fijos bimensuales por comuna, efectos fijos de comuna, tendencias semanales específicas de la comuna y controles de variables climáticas. En la estimación de variables instrumentales, el número de inversiones térmicas por semana es el instrumento utilizado. Los controles meteorológicos son polinomios de cuarto grado para la temperatura media durante la semana, temperatura máxima y mínima durante la semana, precipitación, humedad y velocidad del viento. Los errores estándar (entre paréntesis) están clusterizados a nivel de semana. Cada coeficiente corresponde a una regresión separada. Significancia estadística se indica mediante: \*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.10$ .

Tabla C9  
*Efectos heterogéneos de la Contaminación sobre las Hospitalizaciones Respiratorias (previsión por tramos)*

	NBBA Fonasa 0-18 años (1)	NBBA Isapre 0-18 años (2)	NBBA Fonasa A 0-18 años (3)	NBBA Fonasa B 0-18 años (4)	NBBA Fonasa C 0-18 años (5)	NBBA Fonasa D 0-18 años (6)	NBBA Fonasa BCD 0-18 años (7)
PM <sub>10</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24-hrs	1.4232*** (0.4266)	0.4932** (0.1957)	0.6400*** (0.1861)	0.1240** (0.0575)	0.0989*** (0.0352)	0.1293** (0.0513)	0.5697*** (0.1954)
PM <sub>2.5</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24-hrs	2.1134*** (0.6745)	0.6996** (0.2920)	0.9781*** (0.3027)	0.1753* (0.0938)	0.1427*** (0.0544)	0.1995** (0.0793)	0.8305*** (0.3079)
CO partes por billón (ppb) 8-hrs	52.3167*** (14.4854)	18.1585*** (7.0002)	23.5980*** (6.2674)	4.5130** (2.1398)	3.4946*** (1.2447)	4.8005*** (1.7664)	20.7022*** (6.8416)
Efectos Fijos Bimensuales x comuna FE	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Efectos Fijos comunales	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Controles Meteorológicos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tendencias Semanales-comuna	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

*Nota:* Esta tabla presenta las estimaciones de variables instrumentales del efecto de la contaminación sobre la tasa de hospitalizaciones NBBA de niños entre 0-18 años, por cada 100,000 niños, según el seguro de salud, con FONASA desagregado por tramos. Todas las especificaciones controlan por los efectos fijos bimensuales por comuna, efectos fijos de comuna, tendencias semanales específicas de la comuna y controles de variables climáticas. En la estimación de variables instrumentales, el número de inversiones térmicas por semana es el instrumento utilizado. Los controles meteorológicos son polinomios de cuarto grado para la temperatura media durante la semana, temperatura máxima y mínima durante la semana, precipitación, humedad y velocidad del viento. Los errores estándar (entre paréntesis) están clusterizados a nivel de semana. Cada coeficiente corresponde a una regresión separada. Significancia estadística se indica mediante: \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.10.



Tabla C10  
*Efectos heterogéneos de la Contaminación sobre las Hospitalizaciones Respiratorias (previsión por tramos)*

	NBBA Fonasa 0 años (1)	NBBA Isapre 0 años (2)	NBBA Fonasa A 0 años (3)	NBBA Fonasa B 0 años (4)	NBBA Fonasa C 0 años (5)	NBBA Fonasa D 0 años (6)	NBBA Fonasa BCD 0 años (7)
PM <sub>10</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24-hrs	13.7255*** (4.3891)	4.5187*** (1.5431)	6.1944*** (1.9159)	1.1315* (0.6272)	0.9705*** (0.3418)	0.8635** (0.3853)	4.7149** (1.8463)
PM <sub>2.5</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24-hrs	20.1719*** (6.9425)	6.4305*** (2.2447)	9.5405*** (3.0681)	1.6394 (1.0085)	1.2913** (0.5255)	1.2733** (0.5951)	6.6005** (2.9160)
CO partes por billón (ppb) 8-hrs	508.4084*** (148.4135)	166.4719*** (53.4263)	230.6836*** (63.4594)	42.2148* (22.8240)	33.1382*** (12.1641)	34.4529** (13.6403)	174.8065*** (65.3889)
Efectos Fijos Bimensuales x comuna FE	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Efectos Fijos comunales	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Controles Metereológicos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tendencias Semanales-comuna	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

*Nota:* Esta tabla presenta las estimaciones de variables instrumentales del efecto de la contaminación sobre la tasa de hospitalizaciones NBBA de niños de 0 años, por cada 100,000 niños, según el seguro de salud, con FONASA desagregado por tramos. Todas las especificaciones controlan por los efectos fijos bimensuales por comuna, efectos fijos de comuna, tendencias semanales específicas de la comuna y controles de variables climáticas. En la estimación de variables instrumentales, el número de inversiones térmicas por semana es el instrumento utilizado. Los controles meteorológicos son polinomios de cuarto grado para la temperatura media durante la semana, temperatura máxima y mínima durante la semana, precipitación, humedad y velocidad del viento. Los errores estándar (entre paréntesis) están clusterizados a nivel de semana. Cada coeficiente corresponde a una regresión separada. Significancia estadística se indica mediante: \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.10.

Tabla C11  
*Efectos heterogéneos de la Contaminación sobre las Hospitalizaciones Respiratorias (género)*

	Hosp. NBBA Mujer 0-18 años (1)	Hosp. NBBA Hombre 0-18 años (2)	Hosp. NBBA Mujer 0 años (3)	Hosp. NBBA Hombre 0 años (4)
PM <sub>10</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24-hrs	0.7537*** (0.2529)	1.1123*** (0.3294)	5.9682*** (2.0997)	11.1971*** (3.2586)
PM <sub>2.5</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24-hrs	1.0827*** (0.3847)	1.6304*** (0.5099)	8.4690*** (3.1817)	16.2685*** (4.9788)
CO partes por billón (ppb) 8-hrs	28.3403*** (8.8326)	40.0391*** (11.1278)	225.4842*** (72.5903)	405.0153*** (107.4006)
Efectos Fijos Bimensuales x comuna FE	✓	✓	✓	✓
Efectos Fijos comunales	✓	✓	✓	✓
Controles Meteorológicos	✓	✓	✓	✓
Tendencias Semanales-comuna	✓	✓	✓	✓

*Nota:* Esta tabla presenta las estimaciones de variables instrumentales del efecto de la contaminación sobre la tasa de hospitalizaciones NBBA de niños entre 0-18 años y de 0 años, por cada 100,000 niños, según el género del paciente. Todas las especificaciones controlan por los efectos fijos bimensuales por comuna, efectos fijos de comuna, tendencias semanales específicas de la comuna y controles de variables climáticas. En la estimación de variables instrumentales, el número de inversiones térmicas por semana es el instrumento utilizado. Los controles meteorológicos son polinomios de cuarto grado para la temperatura media durante la semana, temperatura máxima y mínima durante la semana, precipitación, humedad y velocidad del viento. Los errores estándar (entre paréntesis) están clusterizados a nivel de semana. Cada coeficiente corresponde a una regresión separada. Significancia estadística se indica mediante: \*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.10$ .

Tabla C12  
 El Efecto de la Contaminación sobre las Hospitalizaciones Respiratorias, por Enfermedad, 0-18 años

	Hosp. NBBA (1)	Hosp. Total (2)	TRS (3)	GN (4)	IRA (5)	OTRS (6)	ERIC (7)	Digestivo (8)
PM <sub>10</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2.1624*** (0.6362)	2.4444*** (0.7154)	0.0030 (0.0160)	1.1523*** (0.3940)	0.7454*** (0.2103)	0.0097 (0.0634)	-0.0099 (0.0287)	-0.0079 (0.0794)
PM <sub>2.5</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$	3.1796*** (0.9757)	3.6282*** (1.1190)	0.0087 (0.0256)	1.6518*** (0.6164)	1.1108*** (0.3200)	0.0195 (0.1023)	-0.0099 (0.0455)	-0.0209 (0.1266)
CO partes por billón (ppb)	80.1807*** (21.6506)	90.6993*** (24.6104)	0.1012 (0.6113)	41.6106*** (13.7777)	27.9555*** (7.1042)	0.2473 (2.3713)	-0.1697 (1.0566)	-0.8188 (2.9500)
Bimensual x comuna FE	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Efectos Fijos comunales	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Controles Metereológicos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tendencias Semanales-comuna	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

*Nota:* Esta tabla explora pruebas de placebo para distintas categorías de enfermedades respiratorias y digestivas, la tabla presenta las estimaciones de variables instrumentales, cada columna dentro cada panel corresponde a una regresión separada, en la columna (1) se presenta el efecto de la contaminación sobre la tasa de hospitalizaciones NBBA de niños entre 0-18 años, por cada 100,000 niños, la columna (2) representa la tasa de hospitalización total de enfermedades respiratorias, la columna (3) estima la tasa de hospitalizaciones por Gripe y Neumonía (GN), la columna (5) estima para la tasa de hospitalizaciones superiores (TRS), columna (4) representa la tasa de hospitalizaciones por Infecciones agudas de las vías respiratorias superiores de Enfermedades respiratorias inferiores agudas (IRA), la columna (6) estima para la tasa de hospitalizaciones de Otras enfermedades de las vías respiratorias superiores (OTRS), la columna (7) estima para la tasa de hospitalizaciones inferiores crónicas (ERIC), mientras que la columna (8) estima para la tasa de hospitalizaciones para todas las enfermedades del aparato digestivo. Las variables de Infecciones respiratorias están construidas a partir de la Clasificación internacional de enfermedades, 10.<sup>a</sup> edición (CIE-10). Todas las especificaciones controlan por los efectos fijos bimensuales por comuna, efectos fijos de comuna, tendencias semanales específicas de la comuna y controles de variables climáticas. Los controles meteorológicos son polinomios de cuarto grado para la temperatura media durante la semana, temperatura máxima y mínima durante la semana, precipitación, humedad y velocidad del viento. Significancia estadística se indica mediante: \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.10.

Tabla C13  
 El Efecto de la Contaminación sobre las Hospitalizaciones Respiratorias, por Enfermedad, 0 años

	Hosp. NBBA (1)	Hosp. Total (2)	TRS (3)	GN (4)	IRA (5)	OTRS (6)	ERIC (7)	Digestivo (8)
PM <sub>10</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$	21.5601*** (6.4403)	23.8476*** (6.8931)	0.0944 (0.2861)	21.0650*** (7.2437)	13.9180*** (3.8832)	0.0914 (1.2028)	-0.1696 (0.5436)	-0.3557 (1.4872)
PM <sub>2.5</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$	31.2095*** (9.7854)	34.6348*** (10.5178)	0.2393 (0.4635)	30.3936*** (11.4410)	20.8706*** (5.9613)	0.2054 (1.9395)	-0.1581 (0.8607)	-0.6921 (2.3660)
CO partes por billón (ppb)	797.2487*** (214.2893)	880.6241*** (230.2226)	3.6020 (11.0311)	760.6536*** (253.8931)	522.2473*** (131.4929)	0.4626 (45.0267)	-2.4197 (19.9742)	-23.2183 (55.1323)
Bimensual x comuna FE	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Efectos Fijos comunales	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Controles Metereológicos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tendencias Semanales-comuna	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

*Nota:* Esta tabla explora pruebas de placebo para distintas categorías de enfermedades respiratorias y digestivas, la tabla presenta las estimaciones de variables instrumentales, cada columna dentro cada panel corresponde a una regresión separada, en la columna (1) se presenta el efecto de la contaminación sobre la tasa de hospitalizaciones NBBA de niños entre 0-18 años, por cada 100,000 niños, la columna (2) representa la tasa de hospitalización total de enfermedades respiratorias, la columna (3) estima la tasa de hospitalizaciones por Infecciones agudas de las vías respiratorias superiores (TRS), columna (4) representa la tasa de hospitalizaciones por Gripe y Neumonía (GN), la columna (5) estima para la tasa de hospitalizaciones superiores de Enfermedades respiratorias inferiores agudas (IRA), la columna (6) estima para la tasa de hospitalizaciones de Otras enfermedades de las vías respiratorias superiores (OTRS), la columna (7) estima para las Enfermedades respiratorias inferiores crónicas (ERIC), mientras que la columna (8) estima para la tasa de hospitalizaciones para todas las enfermedades del aparato digestivo. Las variables de Infecciones respiratorias están construidas a partir de la Clasificación internacional de enfermedades, 10.<sup>a</sup> edición (CIE-10). Todas las especificaciones controlan por los efectos fijos bimensuales por comuna, efectos fijos de comuna, tendencias semanales específicas de la comuna y controles de variables climáticas. Los controles meteorológicos son polinomios de cuarto grado para la temperatura media durante la semana, temperatura máxima y mínima durante la semana, precipitación, humedad y velocidad del viento. Significancia estadística se indica mediante: \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.10.