

---

# EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN ATENCIONES DE URGENCIA DE LA REGIÓN METROPOLITANA

---

VALERIA SCAPINI \*  
CARLA CARRASCO \*\*  
CINTHYA VERGARA \*\*

## Resumen

La contaminación del aire genera diversos efectos sobre la salud humana. Los últimos años se evidencia a nivel mundial alrededor de 4,2 millones de muertes prematuras anuales como resultado de la exposición a la contaminación del aire. Esta investigación busca medir el impacto de las concentraciones de ozono, material particulado  $MP_{10}$  y  $MP_{2,5}$  en las atenciones de urgencia del sector público de salud en la Región Metropolitana de Chile. Se utilizaron 2 fuentes de datos dentro del período 2010 al 2017; para capturar parámetros contaminantes se utilizó el Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA) y, para los datos de atenciones de urgencia por causas respiratorias, los datos del Departamento de Estadísticas e Información en Salud (DEIS) dependiente del Ministerio de Salud. La estimación de modelos se llevó a cabo con regresiones lineales log-log para calcular la elasticidad. Los resultados obtenidos son mixtos, existe una relación entre las concentraciones de contaminantes y la cantidad total de atenciones de urgencias en la Región Metropolitana que varía dependiendo del tipo de enfermedad respiratoria y la estación del año. Cuantificar los efectos de los distintos parámetros contaminantes es de gran utilidad para priorizar medidas ambientales y planificar, incluso adelantarse y reducir costos relacionados a las atenciones de salud.

**Palabras Clave:** Políticas de salud, Medio ambiente, Contaminación, Salud pública, Parámetros contaminantes, Contaminación.

---

\* Escuela de Ingeniería Comercial, Universidad de Valparaíso, Santiago, Chile

\*\* CRS Hospital Provincia Cordillera, Santiago, Chile

---

## 1. Motivación y contexto

---

Los efectos de la contaminación atmosférica en la salud es un área del conocimiento que ha sido ampliamente discutido. Distintos estudios [3, 8, 10, 16, 18, 22, 26] muestran que los contaminantes ambientales pueden contribuir a problemas en la salud y calidad de vida como la disminución de la función pulmonar, el nivel de tolerancia al ejercicio, un aumento en la reactividad bronquial, el riesgo de bronquitis obstructiva crónica, exacerbación del asma bronquial, cáncer pulmonar, entre otros.

La exposición a la contaminación del aire se ha asociado con una serie de efectos adversos para la salud humana [8, 16]. No sólo hay evidencia que afecta al sistema respiratorio sino también al cardíaco [2, 21], trae consecuencias neurológicas [5, 6, 23] e incluso efectos sobre la reproducción [7, 11, 15].

De acuerdo con datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) la contaminación del aire exterior es la principal causa medioambiental de riesgo a la salud generando alrededor del 23 % de las muertes a nivel mundial. La contaminación del aire está asociada a cerca de 4,2 millones de muertes prematuras, donde el 58 % de las muertes prematuras está asociada a cardiopatía isquémica y accidentes cerebro vasculares, el 18 % a enfermedad pulmonar obstructiva crónica e infecciones respiratorias inferiores y el 6 % a cáncer de pulmón [18, 17].

Dentro de las principales partículas contaminantes está el material particulado ( $MP$ ) que corresponde a una mezcla de partículas, sólidas o líquidas, suspendidas en el aire, que difieren en tamaño, composición y origen y se clasifican de acuerdo a sus propiedades aerodinámicas. El  $MP_{10}$  comprende las partículas de diámetro aerodinámico menor a 10 micrómetros, siendo partículas que pueden penetrar el sistema respiratorio hasta los pulmones, produciendo irritaciones y aumentando la incidencia de enfermedades relacionadas a éste. El  $MP_{2,5}$  comprende las partículas menores a 2,5 micrómetros y estas son de especial atención debido a que pueden ingresar hasta los alvéolos y luego a la sangre. Estudios epidemiológicos dan cuenta de la asociación que hay entre la contaminación ambiental, cuando existen altas concentraciones de  $MP_{10}$  y  $MP_{2,5}$  y la incidencia en el aumento de patologías respiratorias y cardiovasculares en la población [2, 21], siendo los niños y adultos mayores los más vulnerables y con mayores índices de mortalidad por causa de estas enfermedades.

Otro contaminante de especial atención es el ozono ( $O_3$ ), un gas que se

forma y reacciona frente a la luz solar y que, al estar a nivel del suelo puede afectar a la salud de los pulmones, el tracto respiratorio, los ojos y aumentar la susceptibilidad a los alérgenos respiratorios. El ozono superficial se forma a partir de otros contaminantes y puede reaccionar con otras sustancias por la acción de la luz. Las concentraciones son normalmente bajas en las zonas urbanas con mucho tráfico y suelen ser superiores en las afueras y en zonas rurales anexas, especialmente en los días soleados de verano.

En la Región Metropolitana de Chile existe una relación espacial entre las variables climáticas y las concentraciones de  $MP$  debido a la geografía de la zona. Al encontrarse rodeada de montañas, se produce el fenómeno de *inversión térmica*, concentrándose las partículas contaminantes dentro de la cuenca y, frente a bajas temperaturas, se concentran y se forma una capa de aire que no permite la ventilación ni la dispersión de los contaminantes. En verano, el fenómeno se ubica aproximadamente a 1000 metros de altura y, en invierno, alcanza los 200 o 300 metros sobre el nivel del suelo, afectando en mayor medida la salud de las personas.

En esta región, en el año 2018, hay 13 estaciones de monitoreo operativas que miden las concentraciones de partículas en el aire de material particulado  $MP_{2,5}$ , material particulado  $MP_{10}$ , dióxido de azufre  $SO_2$ , dióxido de nitrógeno  $NO_2$ , óxidos de nitrógeno  $NO_X$ , monóxido de nitrógeno  $NO$ , monóxido de carbono  $CO$ , ozono  $O_3$ , metano  $CH_4$  e hidrocarburos no metánicos  $HCNM$ .

Por su parte, el sistema de salud chileno posee un sistema previsional mixto, donde el sector público se gestiona a través del Fondo Nacional de Salud (FONASA) quien se encarga de la cobertura financiera de sus afiliados. El seguro público cubre al 72,5% de población [14], por lo tanto, la mayoría de las atenciones se resuelven en recintos de salud pública.

El presente trabajo de investigación busca cuantificar cómo afectan los contaminantes del aire  $MP_{10}$ ,  $MP_{2,5}$  y  $O_3$  en la salud de la población tomando como referencia los datos de atenciones de urgencia del sistema de salud pública correspondientes a urgencias respiratorias dentro de la Región Metropolitana. Los datos de atenciones de salud se estructuraron de acuerdo a semanas estadísticas, estación del año (verano, otoño, invierno, primavera) y zonas con el promedio semanal de atenciones dentro del período 2010-2017. Se generaron series de tiempo para comprender el comportamiento tanto de las atenciones como de los contaminantes bajo estudio. Finalmente, se utilizó como método de análisis el modelo de regresiones lineal con la estrategia log-log para estimar las elasticidades entre las atenciones de urgencia respiratoria y las partículas contaminantes  $MP_{10}$ ,  $MP_{2,5}$  y  $O_3$  para cada tipo de problema respiratorio registrado en las series estadísticas.

La sección 2 muestra trabajos relacionados con el análisis de los efectos de la calidad del aire y las enfermedades respiratorias, la sección 3 analiza de manera cualitativas los datos obtenidos, la sección 4 detalla los modelos estimados y sus resultados, la sección 5 presenta las principales conclusiones.

---

## 2. Trabajos relacionados

---

Para abordar el problema de la contaminación del aire, se han desarrollado investigaciones que analizan desde distintas perspectivas los efectos de parámetros contaminantes en la salud de las personas. Por un lado nos encontramos con análisis que buscan explicar las causas de la contaminación y sus efectos en la salud de las personas y, por otro, modelos que cuantifican los efectos de los distintos agentes contaminantes del aire así como también modelos de predicción de los niveles de dichos contaminantes.

Según estudios recientes [10] sobre el efecto de las partículas contaminantes en la salud, el ozono y el  $MP$  son los que más impacto tienen sobre problemas cardiopulmonares. En [1] estudian los efectos de la exposición al ozono y otros contaminantes atmosféricos en la Ciudad de México entre los años 1990-1992, donde se utilizó una regresión Poisson para modelar el número de muertes diarias en función de parámetros de contaminación del aire, y se observó una asociación con la concentración máxima diaria de ozono y con las concentraciones medias de dióxido de azufre y  $MP$ . Por el contrario, otra línea de estudios no revelan efectos en la salud [19]. Se ha discutido respecto al nivel de exposición y a la fuente contaminante, encontrando quienes concuerdan con los altos niveles de material en suspensión o gases y su incidencia en la salud [25], mientras que para otros los efectos se evidencian incluso con bajas concentraciones [12]. En [13] se investiga los niveles elevados de contaminación del aire en China encontrando que éstos resultan ser significativos y adversos para la salud de la población en zonas urbanas.

Para el caso chileno, en [20] se utilizó un modelo de regresión múltiple con controles de temperatura mínima diaria, temperaturas extremas, día de la semana, mes y año. En él se identifica que un aumento de 10  $microgramos/m^3$  en el  $MP_{10}$  diario se relaciona con un aumento del 1% en la mortalidad en Santiago de Chile. Otro estudio muestra que los casos de pacientes con insuficiencia cardíaca presentan altos riesgos de hospitalización ante incrementos en las concentraciones de  $MP_{2,5}$  [4]. En [9] se estudia el efecto de  $MP_{2,5}$  y otros contaminantes sobre la cantidad de atenciones de urgencias respiratorias en un hospital infantil entre 1995 y 1996, concluyendo que la contaminación,

especialmente asociada a partículas finas, afecta negativamente la salud de los niños en la ciudad de Santiago.

Finalmente es posible ver que existen distintas aproximaciones así como técnicas para abordar los problemas de contaminación del aire y su relación con los problemas de salud.

---

### 3. Descripción de los datos

---

#### 3.1. Datos recolectados

Para realizar el estudio se utilizaron 2 fuentes de datos independientes dentro del período 2010 al 2017. Para capturar parámetros contaminantes se utilizó el Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA) y, para los datos de atenciones de urgencia por causas respiratorias, los datos del Departamento de Estadísticas e Información en Salud (DEIS).

Los datos de atenciones de salud se estructuraron de acuerdo a 53 semanas estadísticas<sup>1</sup>, estación del año (verano, otoño, invierno, primavera) y 6 zonas geográficas (central, norte, occidente, oriente, sur y suroriente) de la Región Metropolitana.

Tabla 1: Asignación de zona para las estaciones de monitoreo SINCA

Nº	Estación	Zona Asignada
1	Cerrillos	Norte
2	Cerrillos I	Norte
3	Cerro Navia	Occidente
4	El Bosque	Sur
5	Independencia	Norte
6	La Florida	Suroriente
7	Las Condes	Oriente
8	Pudahuel	Occidente
9	Puente Alto	Suroriente
10	Quilicura	Norte
11	Quilicura I	Norte
12	Parque O'Higgins	Central
13	Talagante	Occidente

---

<sup>1</sup>Una semana estadística corresponde a cada una de las semanas del año, desde la semana 1 a la 53, con sus correspondientes datos estadísticos de atención.

Las causas respiratorias se obtuvieron del registro estadístico del DEIS<sup>2</sup> desde donde es posible obtener el promedio semanal de atenciones de urgencia para las 6 zonas de la Región Metropolitana.

Tabla 2: Causas respiratorias disponibles en el registro estadístico del DEIS

Causa	Abreviación	Códigos CIE10
Infección respiratoria aguda	IRA	J00-J06
Influenza	-	J09-J11
Neumonía	-	J12-J18
Bronquitis	-	J20-J21
Crisis bronquial obstructiva	CBO	J40-J46
Otra causa respiratoria	Otras	J22-J30, J39-J47-J60, J98

De acuerdo a esta estructura se recolectaron los datos del SINCA desde 13 estaciones de monitoreo de la Región Metropolitana, asociando a las atenciones de urgencia respiratorias, los niveles de las partículas contaminantes  $MP_{10}$ ,  $MP_{2,5}$  y ozono. Las estaciones fueron clasificadas de acuerdo a las zonas determinada en el DEIS y para la consolidación de datos se calculó el promedio por semana estadística. También se generaron 9 variables indicando el promedio de emisión de la primera, segunda y tercera semana anterior de cada semana como variables de rezago.

Finalmente se transformó el valor de las variables a su valor logarítmico para estimar la elasticidad de la cantidad de atenciones con respecto a los contaminantes seleccionados.

### 3.2. Análisis de series de tiempo

Durante el período analizado hubo un total de 16.141.716 atenciones de urgencias respiratorias en establecimientos públicos de urgencia de la Región Metropolitana, con un promedio semanal de 38.709 atenciones (ver Figura 1).

De acuerdo con los datos consolidados se identifica que, para la serie de tiempo de número de atenciones por semana estadística, existe un patrón estacional de ciclo anual con un importante componente aleatorio (ver Figura 2).

<sup>2</sup>CIE10 (Clasificación Internacional de Enfermedades, 10<sup>a</sup> versión) de la Organización Mundial de la Salud (OMS)

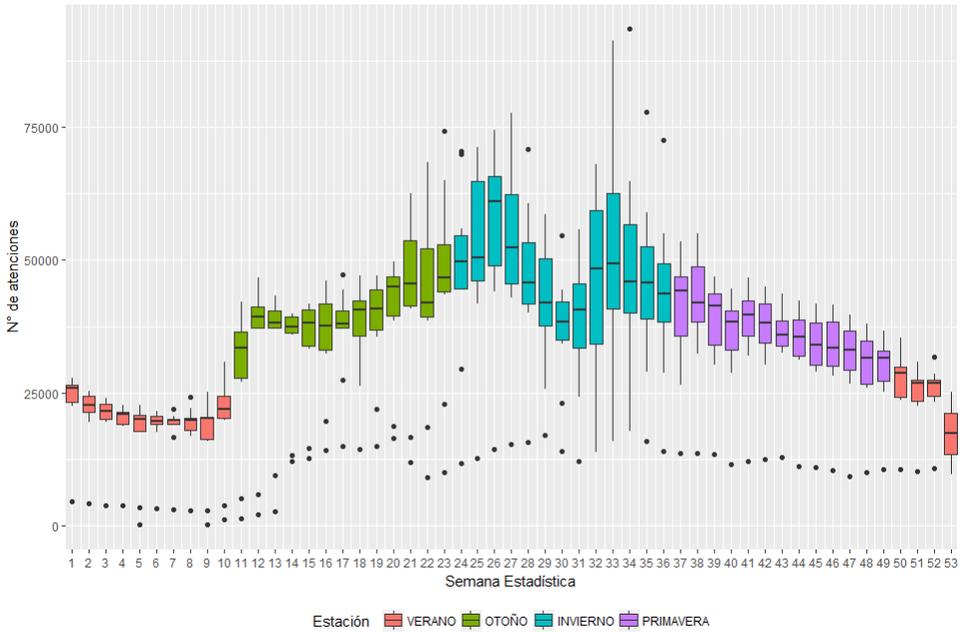


Figura 1: Diagrama de caja comportamiento semanal atenciones de urgencia respiratorias período 2010-2017

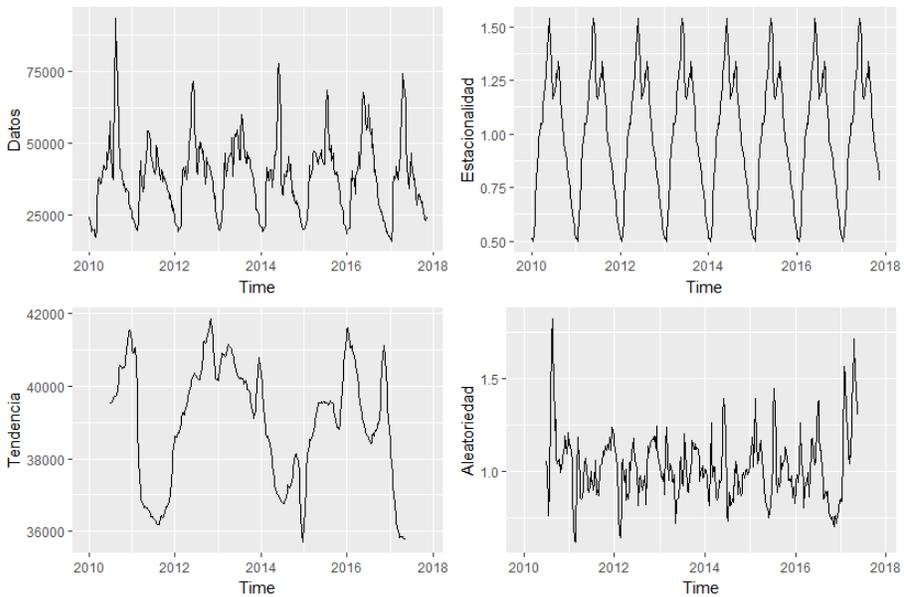


Figura 2: Descomposición de los multiplicativos de series de tiempo de atenciones de urgencia respiratorias

Existe mayor presión asistencial debido a enfermedades respiratorias en el período invernal caracterizado por menor temperatura atmosférica y mayor cantidad de precipitaciones que los otros períodos del año. Separando la serie por cada una de las zonas de la Región Metropolitana se identifican diferencias en la magnitud de atenciones manteniendo el mismo comportamiento semanal.

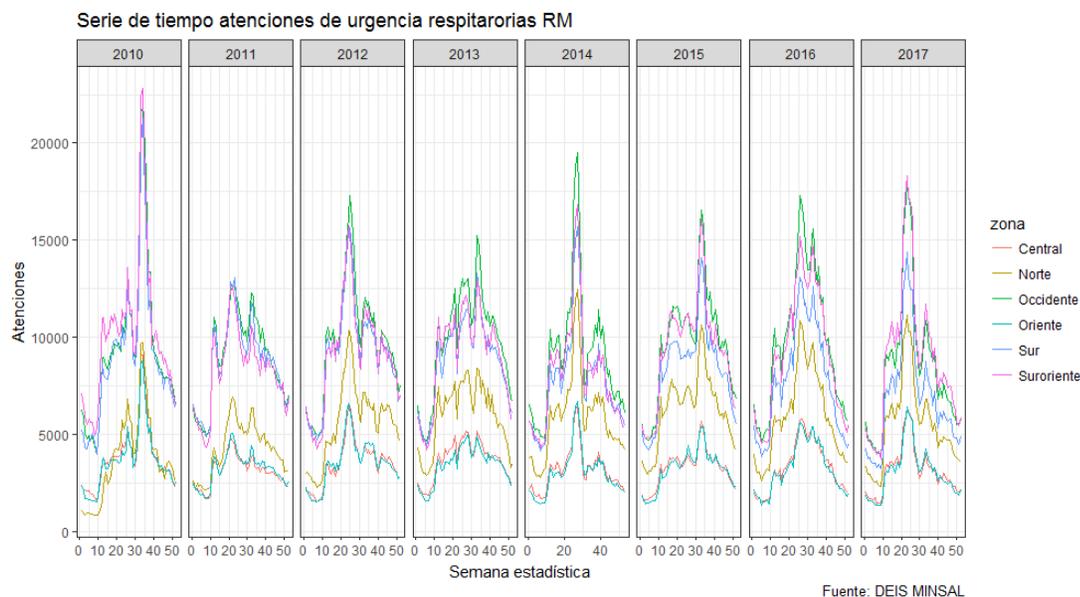


Figura 3: Serie de tiempo atenciones de urgencia respiratorias en la Región Metropolitana entre los años 2010-2017 por zona

Por el lado de los contaminantes del aire  $MP_{10}$ ,  $MP_{2,5}$  y ozono, se identifica un patrón estacional de ciclo anual donde el  $MP_{10}$  y  $MP_{2,5}$  aumentan significativamente durante el período de invierno mientras que el ozono disminuye.

El comportamiento simultáneo entre contaminantes, atenciones de urgencia respiratoria y estaciones del año muestra que cuando hay mayor número de atenciones hay mayor nivel de contaminantes  $MP_{2,5}$  y  $MP_{10}$  y menor nivel de ozono, este último aumenta cuando hay mayor temperatura ambiental y, por el contrario, el  $MP_{10}$  y el  $MP_{2,5}$  aumentan frente a bajas temperaturas en la cuenca de Santiago debido al fenómeno de inversión térmica. A su vez, las enfermedades respiratorias aumentan cuando hay menor temperatura y mayor humedad, escenario que se presenta en el período de invierno. Todas las variables tienen un marcado componente estacional.

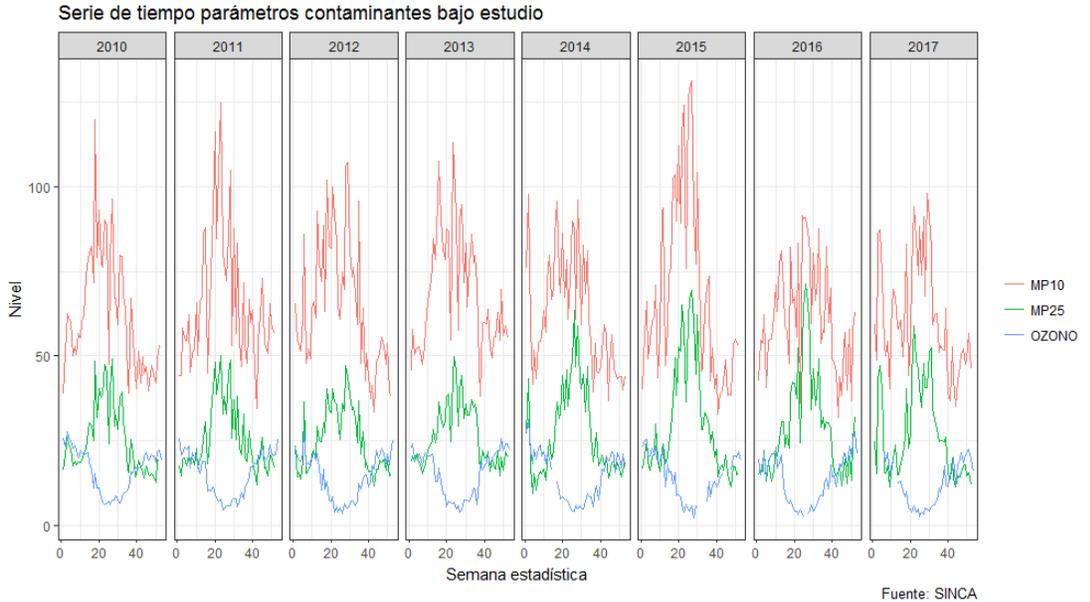


Figura 4: Niveles de los materiales contaminantes  $MP_{2,5}$  y  $MP_{10}$  y ozono en la Región Metropolitana entre los años 2010-2017

## 4. Estimación de modelos y resultados

De acuerdo al análisis de las series de tiempo de las variables bajo estudio se identifica que existe efectos estacionales significativos para cada una de las variables, así como diferencias de magnitud por zona. Frente a este escenario se utilizó la *semana* como efecto fijo para todos los modelos. La notación utilizada será la siguiente:

### Índices

$t$ : Año, con  $t \in \{2008, \dots, 2017\}$ .

$s$ : Semana estadística, con  $s \in \{1, \dots, 53\}$ .

$e$ : Estación del año, con  $e \in \{\text{verano}, \text{otoño}, \text{invierno}, \text{primavera}\}$

$s_i$ : Semana anterior  $i$ , con  $i \in \{0, 1, 2, 3\}$ .

$r$ : Enfermedad respiratoria específica, con  $r \in \{\text{IRA}, \text{Influenza}, \text{Neumonía}, \text{Bronquitis}, \text{CBO}, \text{Otras}\}$ .

## Variables

$AU$ : Logaritmo del número de atenciones de urgencia respiratorias de la Región Metropolitana.

$MP_{2,5}$ : Logaritmo del nivel de material particulado  $MP_{2,5}$ .

$MP_{10}$ : Logaritmo del nivel de material particulado  $MP_{10}$ .

$O_3$ : Logaritmo del nivel de ozono.

$EF^s$ : Efecto fijo semana estadística.

$EF^e$ : Efecto fijo estación del año.

El primer modelo estimado tiene por objetivo analizar de manera general los efectos de los contaminantes sobre el total de atenciones de urgencia respiratorias de acuerdo a la siguiente estructura:

$$AU^{tse} = EF^s + EF^e + \beta_1 \times MP_{2,5}^{ts} + \beta_2 \times MP_{10}^{ts} + \beta_3 \times O_3^{ts} + \epsilon^{ts} \quad (1)$$

Sobre este modelo se agregaron los niveles de contaminación de las semanas anteriores (período de rezago), generando la siguiente estructura:

$$AU^{tse} = EF^s + EF^e + \beta_0 + \beta_1 \times MP_{2,5}^{ts_i} + \beta_2 \times MP_{10}^{ts_i} + \beta_3 \times O_3^{ts_i} + \epsilon^{ts_i} \quad (2)$$

Tomando el modelo general se puede establecer que un aumento en un 1 % del  $MP_{2,5}$  se relaciona con un aumento de 0,04 % en el número de atenciones de urgencia, mientras que un aumento en un 1 % del  $MP_{10}$  se relaciona con un aumento en un 0,05 % en el número de atenciones. Los resultados muestran que los contaminantes bajo estudio no tienen efectos significativos lineales sobre las atenciones de urgencia totales.

Para el caso del ozono ( $O_3$ ), como se muestra en la sección 3.2, su comportamiento es contracíclico respecto a las atenciones de urgencia respiratorias, lo que explica que muestre ser significativo con signo negativo. Sin embargo la significancia que muestra se puede explicar de acuerdo con su comportamiento estacional y no necesariamente indica una relación causal con las atenciones de urgencia respiratorias.

Al agregar los rezagos, con los niveles de contaminantes en la primera, segunda y tercera semana anterior al registro, tampoco se encuentran resultados significativos de los contaminantes sobre las atenciones de urgencia. El contaminante  $MP_{10}$  en el modelo dado por (2) muestra ser significativo y, de acuerdo con la revisión de literatura, podría significar una relación causal positiva donde un aumento de un 1 % de  $MP_{10}$  se relaciona con un aumento

Tabla 3: Resultado modelos generales

	<i>Variable Dependiente AU<sup>ts<sub>e</sub></sup></i>	
	Modelo general (1)	Modelo general con rezago (2)
$MP_{2,5}$	0.040	-0.079
$MP_{10}$	0.054	0.136*
$O_3$	-0.152***	0.005
$MP_{2,5}^1$	-	0.025
$MP_{2,5}^2$	-	0.025
$MP_{2,5}^3$	-	0.033
$MP_{10}^1$	-	-0.024
$MP_{10}^2$	-	-0.040
$MP_{10}^3$	-	-0.066
$O_3^1$	-	-0.043
$O_3^2$	-	-0.025
$O_3^3$	-	-0.035
EF - Estación	Sí	Sí
EF - Semana	Sí	Sí
Semanas	417	414
R <sup>2</sup>	0.794	0.848
R <sup>2</sup> ajustado	0.763	0.821
Residual Std. Error	0.153 (df = 361)	0.147 (df = 349)

*Códigos de significancia:* \* p < 0.1; \*\* p < 0.05; \*\*\* p < 0.01

del 0,14% en las atenciones respiratorias. En los modelos generales obtenidos, los factores estacionales son los que muestran mayor significancia en relación con la cantidad de atenciones respiratorias de urgencia. Adicionalmente se realizó un análisis general utilizando la ecuación (1) para cada estación del año *e* donde ninguno de los contaminantes bajo estudio, de manera aislada, mostró tener efectos significativos sobre las atenciones de urgencia.

Estos resultados llevaron a la generación de modelos por tipo de enfermedad respiratoria para identificar de manera aislada si alguna de las enfermedades respiratorias se ve afectada por los contaminantes bajo estudio en cada unas de las estaciones de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$AU_{re}^{ts} = EF^s + \beta_1 \times MP_{2,5}^{ts} + \beta_2 \times MP_{10}^{ts} + \beta_3 \times O_3^{ts} + \epsilon^{ts} \tag{3}$$

En este último modelo el signo de los valores estimados podría indicar que los contaminantes están relacionados con ciertas condiciones ambientales específicas que producen su aumento o disminución. Para las IRA Alta se identifica que en las estaciones de verano y otoño existe relación significativa respecto a los contaminantes  $MP_{10}$  y  $O_3$  y en invierno con los contaminantes  $MP_{2,5}$  y  $MP_{10}$ . Para la influenza sólo una relación significativa en otoño con los contaminantes  $MP_{10}$  y  $O_3$ . Para la neumonía no se encuentra relación significativa con ninguno de los contaminantes y en ninguna de las épocas. La crisis obstructiva bronquial muestra relación significativa en el periodo de otoño con los tres contaminantes,  $MP_{2,5}$ ,  $MP_{10}$  y  $O_3$  y en invierno con  $MP_{2,5}$  y  $MP_{10}$  y en primavera con el  $O_3$ . Finalmente, otras causas respiratorias muestran relación significativa en el periodo de verano sólo con  $MP_{10}$ , en otoño con los tres contaminantes y en primavera con  $O_3$ . Los resultados de los modelos estimados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4: Modelos por tipo de urgencia

	Estación del año			
	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
<i>3.1 IRA Alta</i>				
$MP_{2,5}$	-0.074	-0.057	0.293*	0.153
$MP_{10}$	0.287**	0.267**	-0.331*	-0.028
$O_3$	-0.277**	-0.214***	-0.114	-0.078
$R^2$	0.627	0.380	0.310	0.378
$R^2$ ajustado	0.560	0.274	0.193	0.272
<i>3.2 Influenza</i>				
$MP_{2,5}$	-0.061	-0.469	-0.626	-0.296
$MP_{10}$	0.585	0.521*	-0.170	0.275
$O_3$	-0.565	-0.314*	-0.299	0.457
$R^2$	0.294	0.467	0.097	0.480
$R^2$ ajustado	0.165	0.376	-0.057	0.391
<i>3.3 Neumonía</i>				
$MP_{2,5}$	0.038	-0.006	0.091	0.040
$MP_{10}$	-0.001	0.161	-0.228	0.033
$O_3$	-0.061	-0.065	-0.116	0.087
$R^2$	0.669	0.761	0.299	0.746
$R^2$ ajustado	0.609	0.721	0.180	0.702
<i>3.4 Crisis obstructiva bronquial</i>				
$MP_{2,5}$	0.039	-0.369**	-0.563***	-0.251
$MP_{10}$	-0.004	0.467***	0.429**	0.215
$O_3$	-0.096	0.255***	0.133	0.420**
$R^2$	0.455	0.642	0.389	0.368
$R^2$ ajustado	0.355	0.581	0.285	0.260
<i>3.5 Otra causa respiratoria</i>				
$MP_{2,5}$	0.158	-0.201**	-0.017	-0.057
$MP_{10}$	-0.386**	0.261**	-0.172	0.102
$O_3$	0.237	0.203***	0.123	0.303**
$R^2$	0.339	0.496	0.198	0.316
$R^2$ ajustado	0.219	0.410	0.061	0.199
<i>Sig. códigos:</i>	* $p < 0.1$ ; ** $p < 0.05$ ; *** $p < 0.01$			

---

## 5. Discusión

---

Los resultados muestran una relación directa entre el material particulado y el número de atenciones de urgencia, sin embargo, los coeficientes estimados no son estadísticamente significativos. En el caso del ozono, se puede ver una correlación negativa estadísticamente significativa, que puede ser explicado por su comportamiento contracíclico y no necesariamente indica causalidad.

Al desagregar el análisis por tipo de enfermedad respiratoria y por estación del año (ver ecuación 3), los resultados también tienen un comportamiento mixtos respecto al número de enfermedades respiratorias por cuadros de urgencia.

Los resultados, si bien muestran un buen ajuste ( $R^2$ ) con las variables seleccionadas, al no ser del todo concluyentes, nos llevan a discutir la inclusión de variables complementarias que permitan elaborar un nuevo modelo. Además, el haber realizado los modelos incluyendo variables contracíclicas, como el ozono, podrían ser la causa de los resultados mixtos obtenidos. La hipótesis inicial tenía como premisa que los ciclos podrían aislarse agregando las semanas estadísticas y las estaciones del año y, por el hecho de estar presente todo el año, era importante mantener dentro del mismo modelo todos los contaminantes independiente de la estacionalidad. Sin embargo, no se obtuvieron resultados que permitiesen comprender cabalmente el fenómeno de la contaminación del aire con un modelo lineal general.

Para identificar el efecto causal de cada contaminante y/o cuantificar su contribución al número de atenciones de urgencia, pareciera ser necesario incluir otras variables que permitan aislar el efecto individual o, de manera alternativa, realizar análisis de acuerdo a cada ciclo estacional o a cada patología de manera aislada. La alta correlación entre estaciones y semanas estadísticas de cada unas de las variables bajo estudio dificulta la posibilidad en gran medida la posibilidad de capturar el efecto causal, lo que genera que finalmente nos encontremos frente a resultados mixtos respecto al número de enfermedades respiratorias por cuadros de urgencia.

Adicionalmente, sería de gran interés comparar estos resultados con otro tipo de modelos, agregar nuevas variables y, convenientemente, incluir un panel con una mayor cantidad de datos climáticos y mayor detalle temporal, que permita identificar con exactitud el efecto causal de cada contaminante en las enfermedades estudiadas.

---

## 6. Conclusiones y trabajo futuro

---

Este trabajo tuvo como finalidad medir el impacto de las concentraciones de ozono, material particulado  $MP_{10}$  y  $MP_{2,5}$  en las atenciones de urgencia del sector público de la Región Metropolitana teniendo como hipótesis un efecto causal entre los contaminantes del aire y el número de atenciones de urgencia respiratoria en la Región Metropolitana. El análisis realizado muestra que los resultados no son lineales con respecto a los cambios semanales de la cantidad de partículas contaminantes del aire y que cada tipo de partícula contaminante afecta de manera distinta a los distintos tipos de enfermedades respiratorias. Además hay una alta correlación entre los distintos tipos de partículas contaminantes y las estaciones del año en la Región Metropolitana.

Los resultados mostraron tener un componente principalmente estacional tanto para la variable dependiente como para las variables independientes. Además, la Región Metropolitana tiene asociadas características geográficas que acentúan los efectos estacionales vinculados a la concentración de las partículas contaminantes. Por ejemplo, la concentración del material particulado en invierno producto de las bajas temperaturas, mala ventilación y fenómeno de inversión térmica [24]. Con ello el número de atenciones de urgencia respiratoria podría estar principalmente relacionado con variables climáticas, entre las cuales encontramos el nivel de precipitaciones, la temperatura, viento y humedad ambiental. Para generar modelos que efectivamente sean capaces de capturar el impacto de los contaminantes del aire en el estado de salud de la población, es necesario contar con datos que incluyan estas variables climáticas y así ampliar el estudio, por tanto, y tomando en cuenta los resultados obtenidos, queda esto como desafío futuro para los investigadores.

Dado lo anterior, es importante señalar que la obtención e integración de datos para realizar análisis cuantitativos más precisos es un desafío para los investigadores puesto que actualmente no existe información pública en Chile que permita construir un conjunto de datos con mayor detalle.

Otras variables de interés a considerar, que puedan incidir en la salud de las personas y, por consecuencia, en el número de atenciones de urgencia, son el número de vehículos en circulación, el número de habitantes, nivel de hacinamiento por zona, la geografía del lugar en estudio y la pertenencia a grupos de riesgo. Como las atenciones de urgencia tienen un comportamiento principalmente relacionado con enfermedades agudas, el análisis podría mejorar considerablemente si la información estuviese disponible con el detalle diario

de cada una de las variables.

Por otro lado, en la Región Metropolitana la contaminación atmosférica varía según sea la hora del día, por lo cual sería interesante conocer la dinámica de la contaminación diaria y replicar el estudio para distintas horas, con el fin de determinar zonas más vulnerables. Por último, se deberían considerar los grupos de riesgo, enfermos crónicos y personas de la tercera edad, así como las campañas de vacunación preventivas, ya que todo ello tiene relación con la incidencia de los distintos tipos de enfermedad respiratoria. Del mismo modo, se podría estudiar el efecto de las variables consideradas y propuestas sobre las atenciones de urgencia relacionadas a otro tipo de enfermedades no necesariamente respiratorias, pues como la revisión bibliográfica evidenció, los contaminantes también influyen en enfermedades de otra naturaleza como las cardiológicas.

Finalmente, es importante recalcar la importancia de las políticas públicas en prevención y control del nivel de contaminantes del aire para mejorar el funcionamiento del sistema de salud. Las normas, los planes de prevención y descontaminación generan beneficios significativos para la salud pública tanto económicos como sociales. En la actualidad, Chile cuenta con instrumentos de comando y control que ayudan a mejorar la calidad del aire, entregando solución a los principales contaminantes del aire como la combustión a leña, la actividad industrial,  $MP_{2,5}$ ,  $SO_2$  y  $NO_x$ . Es necesario fortalecer el vínculo de las políticas de salud con las políticas de medio ambiente tanto para mejoras en la gestión de establecimientos de salud como para asegurar un cuidado integral y mejor calidad de vida de los ciudadanos.

**Agradecimientos:** Los autores agradecen al CRS Hospital Provincia Cordillera, por su apoyo en el desarrollo de la investigación. Los resultados preliminares de este trabajo fueron presentados en las XXXIII Jornadas Chilenas de Salud Pública.

## Referencias

- [1] V. H. Borja-Aburto, D. P. Loomis, S. I. Bangdiwala, C. M. Shy, y R. A. Rascon-Pacheco. Ozone, suspended particulates, and daily mortality in Mexico city. *American journal of epidemiology*, 145(3):258–268, 1997.
- [2] R. D. Brook, S. Rajagopalan, C. A. Pope, J. R. Brook, A. Bhatnagar, A. V. Diez-Roux, F. Holguin, Y. Hong, R. V. Luepker, M. A. Mittleman, et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: an

- update to the scientific statement from the american heart association. *Circulation*, 121(21):2331–2378, 2010.
- [3] B. Brunekreef y S. T. Holgate. Air pollution and health. *The lancet*, 360(9341):1233–1242, 2002.
- [4] P. Castro, J. Vera, L. Cifuentes, G. Wellenius, H. Verdejo, L. Sepúlveda, J. L. Vukasovic, y S. Llevaneras. Polución por material particulado fino (pm 2, 5) incrementa las hospitalizaciones por insuficiencia cardiaca. *Revista chilena de cardiología*, 29(3):306–314, 2010.
- [5] A. Clifford, L. Lang, R. Chen, K. J. Anstey, y A. Seaton. Exposure to air pollution and cognitive functioning across the life course—a systematic literature review. *Environmental research*, 147:383–398, 2016.
- [6] E. Fuertes, M. Standl, J. Forns, D. Berdel, J. Garcia-Aymerich, I. Markevych, G. Schulte-Koerne, D. Sugiri, T. Schikowski, C. M. Tiesler, et al. Traffic-related air pollution and hyperactivity/inattention, dyslexia and dyscalculia in adolescents of the german ginipus and lisaplu birth cohorts. *Environment international*, 97:85–92, 2016.
- [7] S. Ha, R. Sundaram, G. M. B. Louis, C. Nobles, I. Seeni, S. Sherman, y P. Mendola. Ambient air pollution and the risk of pregnancy loss: a prospective cohort study. *Fertility and sterility*, 109(1):148–153, 2018.
- [8] J. Huang, X. Pan, X. Guo, y G. Li. Impacts of air pollution wave on years of life lost: A crucial way to communicate the health risks of air pollution to the public. *Environment international*, 113:42–49, 2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412017>.
- [9] M. Ilabaca, I. Olaeta, E. Campos, J. Villaire, M. M. Tellez-Rojo, y I. Romieu. Association between levels of fine particulate and emergency visits for pneumonia and other respiratory illnesses among children in Santiago, Chile. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 49(9):154–163, 1999.
- [10] O. K. Kurt, J. Zhang, y K. E. Pinkerton. Pulmonary health effects of air pollution. *Current opinion in pulmonary medicine*, 22(2):138, 2016.
- [11] R. Lafuente, N. García-Blàquez, B. Jacquemin, y M. A. Checa. Outdoor air pollution and sperm quality. *Fertility and sterility*, 106(4):880–896, 2016.
- [12] F. Lipfert y T. Hammerstrom. Temporal patterns in air pollution and hospital admissions. *Environmental research*, 59(2):374–399, 1992.

- [13] K. J. Matus. *Health impacts from urban air pollution in China: the burden to the economy and the benefits of policy*. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2005.
- [14] MINSAL. Sustentabilidad financiera del sistema público de salud: Estableciendo las bases de un nuevo sistema de financiamiento y de gestión. departamento de asignación de recursos división de presupuesto subsecretaría de redes asistenciales. <http://www.minsal.cl/wp-content/uploads/2018/03/Sustentabilidad-Financiera-del-Sistem>, feb 2018. En línea; Último acceso Mayo 2010.
- [15] M. J. Nieuwenhuijsen, X. Basagaña, P. Dadvand, D. Martínez, M. Ci-rach, R. Beelen, y B. Jacquemin. Air pollution and human fertility rates. *Environment international*, 70:9–14, 2014.
- [16] W. H. Organization. Contaminación del aire de interiores y salud nota descriptiva n°292 febrero de 2016. *WHO Media centre*, 2016.
- [17] W. H. Organization. Ambient (outdoor) air quality and health. [http://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health), may 2018. En línea; Último acceso Abril 2018.
- [18] W. H. Organization. *World Health Statistics 2018: Monitoring health for the SDGs*. World Health Organization, 2018.
- [19] W. H. Organization et al. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre: actualización mundial 2005. 2006.
- [20] B. Ostro, J. M. Sanchez, C. Aranda, y G. S. Eskeland. Air pollution and mortality: results from a study of santiago, chile. *Journal of exposure analysis and environmental epidemiology*, 6(1):97–114, 1996.
- [21] C. A. Pope, M. C. Turner, R. Burnett, M. Jerrett, S. M. Gapstur, W. R. Diver, D. Krewski, y R. D. Brook. Relationships between fine particulate air pollution, cardiometabolic disorders and cardiovascular mortality. *Circulation research*, páginas 108–115, 2014.
- [22] C. Pope III y D. Dockery. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *Journal of the air & waste management association*, 56(6):709–742, 2006.

- [23] M. Power, S. Adar, J. Yanosky, y J. Weuve. Exposure to air pollution as a potential contributor to cognitive function, cognitive decline, brain imaging, and dementia: a systematic review of epidemiologic research. *Neurotoxicology*, 56:235–253, 2016.
- [24] H. Romero, F. Irrázaval, D. Opazo, M. Salgado, y P. Smith. Climas urbanos y contaminación atmosférica en santiago de chile. *EURE (Santiago)*, 36(109):35–62, 2010.
- [25] C. Shy. Epidemiologic evidence and the united states air quality standards. *American journal of epidemiology*, 110(6):661–671, 1979.
- [26] K. R. Smith, C. F. Corvalán, T. Kjellstrom, et al. How much global ill health is attributable to environmental factors? *Epidemiology-Baltimore*, 10(5):573–584, 1999.

