

# Impacto de la contaminación por material particulado sobre las atenciones de urgencias por causas respiratorias en Chillán, Concepción y Los Ángeles

JONNATHAN REMAGGI S.\* , CRISTIÁN MARDONES P.\*\* y JORGE JIMÉNEZ R.\*\*

## Impact of pollution by particulate matter on emergency room admissions for respiratory causes in Chillán, Concepción, and Los Ángeles, Chile

**Objective:** To determine the impact of air pollution on respiratory diseases in the districts of Chillán, Concepción and Los Ángeles, Chile between 2013 and 2017. **Material and Methods:** Generalized linear models (GLM) were estimated from daily data for emergency room admissions disaggregated by type and age range, concentrations of respirable particulate matter ( $PM_{10}$ ) and fine particulate matter ( $PM_{2.5}$ ), viral index, meteorological and seasonal variables. **Results:** A positive association is obtained between the analyzed contaminants and the number of emergency room admissions for respiratory causes, especially acute upper respiratory infection (URI) and acute bronchitis / bronchiolitis in Chillán, acute URI in Concepción, and also, acute URI, Influenza and obstructive bronchial crisis in Los Angeles. **Conclusions:** The increase in the total number of emergency room admissions is approximately 18,695 per year for every  $1 \mu\text{g} / \text{m}^3$  increase in PM concentrations.

**Key words:** Respiration disorders; Air pollution; Particulate matter.

## Resumen

**Objetivo:** Determinar el impacto de la contaminación del aire sobre la salud respiratoria en las comunas de Chillán, Concepción y Los Ángeles entre los años 2013 y 2017. **Material y Métodos:** Se estimaron modelos lineales generalizados (GLM) a partir de datos diarios de atenciones de urgencias por enfermedades respiratorias desagregadas por tipo y rango etario, concentraciones de material particulado respirable ( $MP_{10}$ ) y material particulado fino ( $MP_{2.5}$ ), índice viral, variables meteorológicas y estacionales. **Resultados:** Se obtiene una asociación positiva entre los contaminantes analizados y las atenciones de urgencias por causas respiratorias, especialmente IRA alta y Bronquitis/Bronquiolitis aguda en Chillán, IRA alta en Concepción, y además, IRA alta, Influenza y Crisis obstructiva bronquial en Los Ángeles. **Conclusiones:** El incremento en el número de todas las atenciones de urgencia es aproximadamente 18.695 al año por cada  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de incremento en las concentraciones de material particulado.

**Palabras clave:** Enfermedades respiratorias; Contaminación del aire; Material particulado.

## Introducción

Las comunas de Chillán, Concepción y Los Ángeles son zonas urbanas con alta densidad poblacional en la región del Biobío (y la recientemente creada región de Ñuble), y además, registran altos niveles de contaminación del aire

por material particulado asociado principalmente a la calefacción residencial con leña, y en menor medida a emisiones del transporte, procesos industriales, quemados agrícolas y forestales<sup>1</sup>. Por lo anterior, en el año 2015 se estableció un plan de prevención y descontaminación atmosférica para las comunas de Chillán y Chillán Viejo,

\* Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Concepción. Concepción, Chile.

\*\* Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Concepción. Concepción, Chile.

y luego en el año 2017 un plan similar para la comuna de Los Ángeles. Ambos planes tienen por objetivo dar cumplimiento a las normas primarias de calidad ambiental<sup>i</sup> que son superadas ampliamente en la época de otoño-invierno, por lo cual incluyen dos medidas estructurales que son el reacondicionamiento térmico de viviendas y la sustitución de los actuales sistemas de calefacción a leña por otros más eficientes y menos contaminantes. Por otra parte, el plan de descontaminación atmosférica para Concepción Metropolitano aún está a la espera de su aprobación definitiva.

El material particulado se puede clasificar de acuerdo a su tamaño en una fracción respirable constituida por partículas con diámetro aerodinámico menor o igual a 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{10}$ ) y en una fracción fina constituida por partículas de diámetro aerodinámico menor o igual a 2,5  $\mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{2,5}$ ). Mientras las partículas de  $\text{MP}_{10}$  quedan retenidas en las vías respiratorias produciendo efectos a nivel del sistema respiratorio, las partículas más pequeñas como el  $\text{MP}_{2,5}$  son más perjudiciales para la salud de las personas al tener la capacidad de pasar al torrente sanguíneo<sup>2</sup>. Estudios internacionales y nacionales han analizado la problemática de la contaminación ambiental y sus efectos sobre la salud de la población. Las metodologías estadísticas más comúnmente utilizadas en los análisis de estos tipos de estudios epidemiológicos corresponden a los modelos aditivos generalizados (GAM)<sup>3-7</sup> y modelos lineales generalizados (GLM) de Poisson<sup>5,9-11</sup>, aunque también existen otras metodologías menos comunes<sup>4,12,13</sup>. En el caso de Chile la mayoría de los estudios se han enfocado en la Región Metropolitana de Santiago<sup>14-18</sup> y la ciudad de Temuco<sup>19,20</sup>, pero es más escasa la evidencia en otras zonas del país<sup>21</sup>.

Por lo anterior, el propósito de esta investigación es evaluar el impacto de la contaminación por  $\text{MP}_{10}$  y  $\text{MP}_{2,5}$  sobre la salud respiratoria de los habitantes de las comunas de Chillán, Concepción y Los Ángeles, realizando una desagregación por causa respiratoria y grupo etario afectado. Así, sería posible dimensionar el impacto en el número de atenciones de urgencia por enfermedades respiratorias frente a una variación en los niveles de los contaminantes  $\text{MP}_{10}$  y  $\text{MP}_{2,5}$ .

i Los límites máximos establecidos en Chile corresponden a 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  como concentración anual para el  $\text{MP}_{10}$  y 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  como concentración anual para el  $\text{MP}_{2,5}$ .

## Material y Métodos

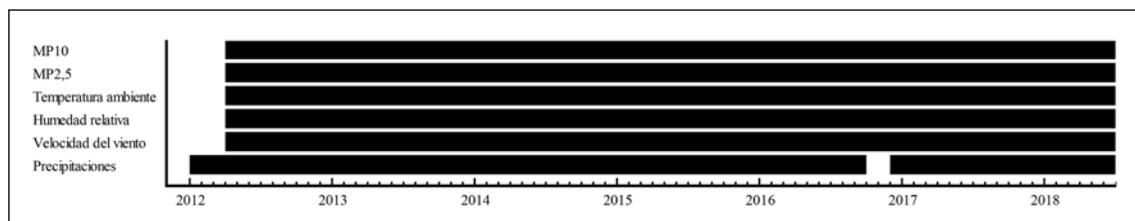
### Descripción de datos

Para realizar el análisis de las atenciones de urgencias por enfermedades respiratorias en las comunas de Chillán, Concepción y Los Ángeles se utilizaron datos obtenidos desde diversos sitios gubernamentales. Las concentraciones de los contaminantes ( $\text{MP}_{10}$  y  $\text{MP}_{2,5}$ ) y los datos meteorológicos (humedad relativa, temperatura y velocidad del viento) se obtuvieron de las estaciones de monitoreo de calidad del aire de la red del Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA)<sup>ii</sup>. Los datos diarios de precipitaciones se obtuvieron desde la Dirección General de Aguas (DGA). La elección de los contaminantes y variables meteorológicas mencionadas anteriormente se realizó tomando en cuenta la disponibilidad de datos en las estaciones y la inclusión de estas variables en la literatura internacional previa. Por otra parte, el número de casos notificados de virus respiratorios para las comunas de Chillán y Concepción se obtuvieron del Instituto de Salud Pública (ISP)<sup>iii</sup>. Los datos diarios de atenciones de urgencias por causas respiratorias se obtuvieron del Departamento de Estadísticas e Información de Salud (DEIS-MINSAL). Los códigos de la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-10) para los diagnósticos utilizados son los siguientes: IRA alta (J00-J06), Influenza (J09-J11), Neumonía (J12-J18), Bronquitis/Bronquiolitis aguda (J20-J21), Crisis obstructiva bronquial (J40-J46) y Otras causas respiratorias (J22, J30-J39, J47, J60-J98).

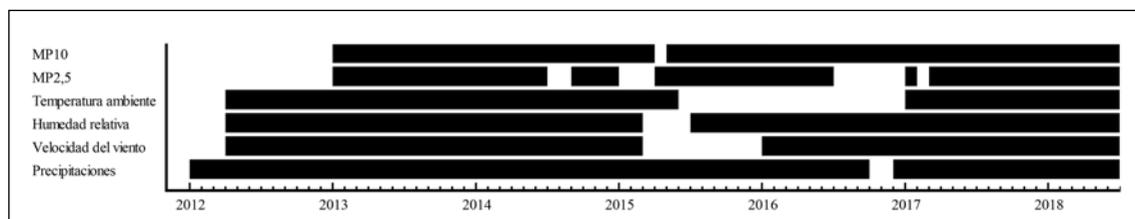
En las Figuras 1, 2 y 3 se aprecia la disponibilidad de datos para las comunas de Chillán, Concepción y Los Ángeles. Se decidió realizar la investigación para las tres comunas durante el período comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de diciembre de 2017 debido a la ausencia de datos validados para los contaminantes  $\text{MP}_{10}$  y  $\text{MP}_{2,5}$  en la comuna de Concepción en el año 2012.

ii Cabe mencionar que existen 20 estaciones activas de la Red SINCA distribuidas en la región del Biobío y Ñuble, por lo cual se realizó un análisis sobre la disponibilidad de información existente sobre contaminantes y meteorología en dichas estaciones, con el fin de determinar aquellas comunas con datos continuos para incorporarlas en la investigación.

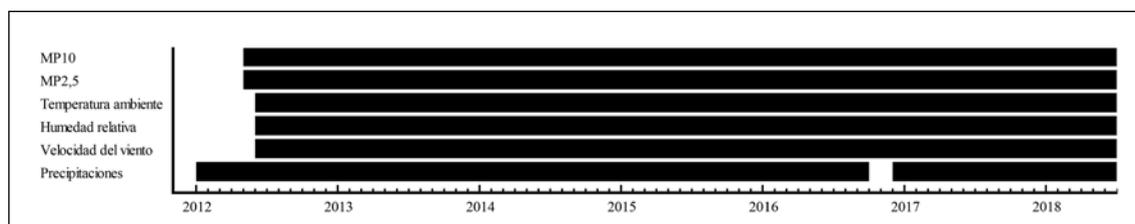
iii Se consideró el virus respiratorio sincicial (VRS) e influenza tipo A (INF.A) debido a su mayor frecuencia histórica e importancia en los registros del ISP.



**Figura 1.** Disponibilidad de datos sobre contaminantes y meteorología en Chillán para el período 2012-2018. Fuente: Elaboración propia en base a datos del SINCA.



**Figura 2.** Disponibilidad de datos sobre contaminantes y meteorología en Concepción para el período 2012-2018. Fuente: Elaboración propia en base a datos del SINCA.



**Figura 3.** Disponibilidad de datos sobre contaminantes y meteorología en Los Ángeles para el período 2012-2018. Fuente: Elaboración propia en base a datos del SINCA.

### ***Variables incluidas en el estudio***

Las variables dependientes utilizadas corresponden al número de atenciones de urgencias diarias desagregadas por tipo de enfermedad respiratoria y grupo etario. De este modo se incluyen seis causas respiratorias correspondientes a Infección Respiratoria Aguda (IRA) alta (J00-J06), Influenza (J09-J11), Neumonía (J12-J18), Bronquitis/Bronquiolitis aguda (J20-J21), Crisis obstructiva bronquial (J40-J46) y Otras causas respiratorias (J22, J30-J39, J47, J60-J98) para cada uno de los cinco grupos etarios estudiados (menores de 1 año, de 1 a 4 años, de 5 a 14 años, 15 a 64 años y 65 y más años), obteniéndose un total de 30 variables dependientes para cada una de las tres comunas incluidas en la investigación. Cabe señalar que los datos disponibles no permiten identificar consultas de urgencias únicas, lo cual podría sobrerrepresentar el impacto de la contaminación obtenido en este estudio (datos nacionales<sup>22</sup> reportan 4% de consultas pediátricas

repetidas dentro de las primeras 72 h en forma posterior a la primera consulta).

En este estudio las variables explicativas corresponden a las concentraciones diarias de los contaminantes y sus rezagos, índice viral, variables meteorológicas, variables estacionales y tendencias. Para cada una de las comunas se estimaron varios modelos dependiendo del contaminante, y también, de la presencia o ausencia de rezago (modelos para MP<sub>10</sub> con rezago, modelos para MP<sub>10</sub> sin rezago, modelos para MP<sub>2,5</sub> con rezago y modelos para MP<sub>2,5</sub> sin rezago). El rezago considerado en los modelos corresponde a un promedio de las concentraciones de los contaminantes en los últimos siete días<sup>iv</sup>. Debido a la ausencia de registros para la comuna de Los Án-

<sup>iv</sup> Se eligieron siete días de rezago basándose en algunos estudios<sup>23,24</sup> que consideran los últimos siete días de rezago, y también, otros estudios<sup>4,12,25</sup> que consideran los últimos seis días de rezago.

geles, la variable de índice viral solo se incorporó en los modelos estimados para las comunas de Chillán y Concepción. En relación a las variables estacionales se decidió incorporar los días de la semana desde lunes a sábado (dejando como base el día domingo), los días feriados, y además, los meses del año desde enero a noviembre (dejando como base diciembre).

### Modelos Lineales Generalizados: GLM

Los modelos GLM corresponden a una extensión de los modelos lineales ya que permiten la inclusión de respuestas no normales, como las representadas por las distribuciones Binomial, Gamma, Gamma Inversa o Poisson<sup>26</sup>. Un modelo GLM tiene tres componentes, siendo el primero de ellos el vector de covariables  $x' = (x_1, x_1, \dots, x_p)$  que origina el predictor lineal:

$$\eta = \sum_{j=1}^p x_j \beta_j = x' \beta \quad (1)$$

Para esta investigación,  $x'$  corresponde al vector de las variables explicativas  $x_j$  incluidas en cada modelo GLM, es decir, las concentraciones de contaminantes, rezagos promedios de las concentraciones, índice viral, variables meteorológicas, estacionales y tendenciales. Por otra parte,  $\beta$  corresponde al vector de parámetros desconocidos  $\beta_j$  que serán posteriormente estimados.

El segundo componente es una función *link*  $g(\mu)$  que relaciona el predictor lineal  $\eta$  con el valor esperado  $\mu$  de la variable dependiente  $Y$ , es decir, las atenciones de urgencias esperadas por tipo de causa respiratoria y grupo etario.

$$g(\mu) = \eta \quad (2)$$

Así, las observaciones  $Y_1, \dots, Y_T$  corresponden al número de atenciones de urgencias de cada variable dependiente ocurridas desde el día 1 hasta el día  $T$ . Cabe señalar que cada una de las distribuciones de la familia exponencial tiene una función *link* especial (en el caso de una distribución Poisson la función *link* es  $\eta = \log \mu$ ).

El tercer componente es una función de varianza que describe cómo la varianza  $var(Y)$ , la cual depende del valor esperado  $\mu$ , en donde el parámetro de dispersión  $\phi$  es constante, y específicamente, en el caso de un modelo Poisson  $\phi$  es igual a 1.

$$var(Y) = \phi var(\mu) \quad (3)$$

Finalmente, a través del método de máxima verosimilitud se pueden estimar los parámetros

$\beta_j$  del modelo GLM. A partir de los parámetros estimados se puede obtener el riesgo relativo de un incremento en la contaminación de MP ( $\Delta \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a partir de la siguiente fórmula:

$$RR_{MP} = \exp(\beta_{MP} \cdot \Delta MP) \quad (4)$$

### Selección de la especificación de los modelos

Para confirmar la robustez de los resultados a diferentes supuestos del modelo se estiman especificaciones con y sin inclusión del rezago promedio de las concentraciones del contaminante, y además, se aplican dos criterios para la selección de variables explicativas que son *Backward Selection (BS)* y *Forward Selection (FS)*. La mayoría de los estadísticos prefieren BS sobre FS, especialmente cuando existe colinealidad, pero cuando los modelos son complejos por la alta dimensionalidad de los datos, FS puede ser útil<sup>27</sup>. En este estudio se adopta un criterio conservador ya que solamente si en las cuatro alternativas estimadas el coeficiente asociado al contaminante ( $MP_{10}$  o  $MP_{2,5}$ ) es positivo y significativo, entonces se reporta en la sección 3 la mejor estimación de acuerdo al Criterio de Información Akaike (AIC).

## Resultados

### Resumen de los resultados para Chillán

Los resultados para las seis causas respiratorias en la comuna de Chillán evidencian una relación positiva entre los contaminantes ( $MP_{10}$  y  $MP_{2,5}$ ) y las atenciones de urgencia. Las diferencias en la magnitud del impacto entre ambos contaminantes no resultan ser muy relevantes, aunque dependen de la causa respiratoria y grupo etario. Para el contaminante  $MP_{10}$  se obtuvieron coeficientes positivos y estadísticamente significativos en todas las especificaciones de las siguientes atenciones de urgencia: IRA Alta en niños desde 1 hasta 4 años ( $\beta = 0,000565$ ); IRA Alta en niños desde 5 hasta 14 años ( $0,000837$ ); IRA Alta en adultos desde 15 hasta 64 años ( $0,000552$ ); Influenza en niños desde 5 hasta 14 años ( $0,00254$ ); Neumonía en niños desde 1 hasta 4 años ( $0,00117$ ); Bronquitis/Bronquiolitis Aguda en niños desde 1 hasta 4 años ( $0,00065$ ); Bronquitis/Bronquiolitis Aguda en niños desde 5 hasta 14 años ( $0,000928$ ); y Crisis Obstructiva Bronquial en adultos desde 15 hasta 64 años ( $0,00135$ ). Para el contaminante  $MP_{2,5}$  se obtuvieron coeficientes positivos y estadísticamente significativos en todas las especificaciones de

las siguientes atenciones de urgencia: IRA Alta en niños desde 5 hasta 14 años (0,000777); IRA Alta en adultos desde 15 hasta 64 años (0,000589); Influenza en niños desde 1 hasta 4 años (0,00207); Neumonía en niños desde 1 hasta 4 años (0,00115); Bronquitis/Bronquiolitis Aguda en niños desde 1 hasta 4 años (0,000642); Bronquitis/Bronquiolitis Aguda en niños desde 5 hasta 14 años (0,00141); y Crisis Obstructiva Bronquial en adultos desde 15 hasta 64 años (0,00201). En la Tabla 1 se presenta el riesgo relativo de un incremento en 10 µg/m<sup>3</sup> del MP<sub>10</sub> y MP<sub>2,5</sub> para la comuna de Chillán. Cabe señalar que en algunas enfermedades o grupos etarios no se presenta en todas las especificaciones estimadas un efecto positivo y estadísticamente significativo de la

contaminación por lo cual no se reporta su riesgo relativo.

También, se puede mencionar que el rezago promedio resulta relevante solo en ciertas causas respiratorias, en particular para la Crisis Obstructiva Bronquial, pero su incorporación permite obtener modelos con mejores ajustes según el criterio AIC. Además, en el 69% de los casos el método BS fue seleccionado como el mejor por el criterio AIC. Por otra parte, los adultos desde 65 años corresponden al grupo etario más vulnerable frente a un aumento de la circulación de los virus para las causas respiratorias de IRA Alta y Bronquitis/Bronquiolitis Aguda, en cambio para la Neumonía, el grupo de niños menores a 1 año resulta ser el grupo más afectado.

**Tabla 1. Resumen de resultados para la comuna de Chillán**

Causa respiratoria	Grupo etario	Riesgo Relativo de 10 µg/m <sup>3</sup> de MP <sub>10</sub>	Riesgo Relativo de 10 µg/m <sup>3</sup> de MP <sub>2,5</sub>
IRA Alta (J00-J06)	Menor a 1 año	-	-
	1 a 4 años	1,00567	-
	5 a 14 años	1,00841	1,00780
	15 a 64 años	1,00554	1,00591
	65 años o más	-	-
Influenza (J09-J11)	Menor a 1 año	-	-
	1 a 4 años	-	1,02092
	5 a 14 años	1,02573	-
	15 a 64 años	-	-
	65 años o más	-	-
Neumonía (J12-J18)	Menor a 1 año	-	-
	1 a 4 años	1,01177	1,01157
	5 a 14 años	-	-
	15 a 64 años	-	-
	65 años o más	-	-
Bronquitis/Bronquiolitis aguda (J20-J21)	Menor a 1 año	-	-
	1 a 4 años	1,00652	1,00644
	5 a 14 años	1,00932	1,01420
	15 a 64 años	-	-
	65 años o más	-	-
Crisis obstructiva bronquial (J40-J46)	Menor a 1 año	-	-
	1 a 4 años	-	-
	5 a 14 años	-	-
	15 a 64 años	1,01359	1,02030
	65 años o más	-	-
Otras causas respiratorias (J22, J30-J39, J47, J60-J98)	Menor a 1 año	-	-
	1 a 4 años	-	-
	5 a 14 años	-	-
	15 a 64 años	-	-
	65 años o más	-	-

Fuente: Elaboración propia. Nota: Se presenta el valor obtenido con el mejor ajuste de los modelos con y sin rezago de acuerdo al criterio AIC.

**Resumen de los resultados para Concepción**

En el caso de Concepción existen impactos más altos de la contaminación sobre las atenciones de urgencia de IRA alta respecto a los impactos obtenidos para Chillán, pero para un número mucho menor de enfermedades y grupos etarios. Específicamente, para el contaminante MP<sub>10</sub> se obtuvieron coeficientes positivos y estadísticamente significativos en todas las especificaciones de las siguientes atenciones de urgencia: IRA Alta en niños desde 1 hasta 4 años ( $\beta = 0,00165$ ); IRA Alta en niños desde 5 hasta 14 años (0,00212); IRA Alta en adultos desde 15 hasta 64 años (0,00014); IRA Alta en adultos de 65 o más años (0,00275); y Crisis Obstructiva Bronquial en niños de 1 a 4 años (0,00423). Para el contaminante MP<sub>2,5</sub> se obtuvieron coeficientes positivos y estadísticamente significativos en todas las

especificaciones de las siguientes atenciones de urgencia: IRA Alta en niños desde 1 hasta 4 años (0,00312); IRA Alta en niños desde 5 hasta 14 años (0,00179); IRA Alta en adultos desde 15 hasta 64 años (0,000893); Bronquitis/Bronquiolitis Aguda en menores de 1 año (0,00603); y Crisis Obstructiva Bronquial en adultos de 65 años o más (0,00533). Cabe señalar que en el 89% de los casos el método BS fue seleccionado como el mejor por el criterio AIC. En la Tabla 2 se presenta el riesgo relativo de un incremento en 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  del MP<sub>10</sub> y MP<sub>2,5</sub> para la comuna de Concepción.

**Resumen de los resultados para la comuna de Los Ángeles**

En el caso de Los Ángeles se observa que en la mayoría de los casos los impactos de la conta-

**Tabla 2. Resumen de resultados para la comuna de Concepción**

Causa respiratoria	Grupo etario	Riesgo Relativo del MP <sub>10</sub>	Riesgo Relativo del MP <sub>2,5</sub>
IRA Alta (J00-J06)	Menor a 1 año	-	-
	1 a 4 años	1,01664	1,03169
	5 a 14 años	1,02143	1,01806
	15 a 64 años	1,01410	1,00897
	65 años o más	1,02788	-
Influenza (J09-J11)	Menor a 1 año	-	-
	1 a 4 años	-	-
	5 a 14 años	-	-
	15 a 64 años	-	-
	65 años o más	-	-
Neumonía (J12-J18)	Menor a 1 año	-	-
	1 a 4 años	-	-
	5 a 14 años	-	-
	15 a 64 años	-	-
	65 años o más	-	-
Bronquitis/Bronquiolitis aguda (J20-J21)	Menor a 1 año	-	1,06216
	1 a 4 años	-	-
	5 a 14 años	-	-
	15 a 64 años	-	-
	65 años o más	-	-
Crisis obstructiva bronquial (J40-J46)	Menor a 1 año	-	-
	1 a 4 años	1,04321	-
	5 a 14 años	-	-
	15 a 64 años	-	-
	65 años o más	-	1,05475
Otras causas respiratorias (J22, J30-J39, J47, J60-J98)	Menor a 1 año	-	-
	1 a 4 años	-	-
	5 a 14 años	-	-
	15 a 64 años	-	-
	65 años o más	-	-

Fuente: Elaboración propia. Nota: Se presenta el valor obtenido con el mejor ajuste de los modelos con y sin rezago de acuerdo al criterio AIC.

minación por MP<sub>2,5</sub> son mayores que los impactos por MP<sub>10</sub>, este es un resultado consistente con estudios previos<sup>13,14,28</sup>. Específicamente, para el contaminante MP<sub>10</sub> se obtuvieron coeficientes positivos y estadísticamente significativos en todas las especificaciones de las siguientes atenciones de urgencia: IRA Alta en niños desde 1 hasta 4 años ( $\beta = 0,000359$ ); IRA Alta en niños desde 5 hasta 14 años (0,000709); IRA Alta en adultos desde 15 hasta 64 años (0,000487); IRA Alta en adultos de 65 o más años (0,000705); Influenza en niños desde 5 hasta 14 años (0,00232); Neumonía en adultos de 65 o más años (0,000697); Crisis Obstructiva Bronquial en niños desde 5 hasta 14 años (0,00196); Crisis Obstructiva Bronquial en adultos desde 15 hasta 64 años (0,00103); y Crisis Obstructiva Bronquial en adultos de 65 años o más (0,000945). Para el con-

taminante MP<sub>2,5</sub> se obtuvieron coeficientes positivos y estadísticamente significativos en todas las especificaciones de las siguientes atenciones de urgencia: IRA Alta en niños desde 1 hasta 4 años (0,000527); IRA Alta en niños desde 5 hasta 14 años (0,000927); IRA Alta en adultos desde 15 hasta 64 años (0,000668); Influenza en niños desde 1 hasta 4 años (0,00405); Influenza en niños desde 5 hasta 14 años (0,00473); Influenza en adultos desde 15 hasta 64 años (0,00307); Crisis Obstructiva Bronquial en niños desde 5 hasta 14 años (0,00176); y Crisis Obstructiva Bronquial en adultos de 65 años o más (0,0012). Cabe señalar que en el 94% de los casos el método BS fue seleccionado como el mejor por el criterio AIC. En la Tabla 3 se presenta el riesgo relativo de un incremento en 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  del MP<sub>10</sub> y MP<sub>2,5</sub> para la comuna de Los Ángeles.

**Tabla 3. Resumen de resultados para Los Ángeles**

Causa respiratoria	Grupo etario	Riesgo Relativo del MP <sub>10</sub>	Riesgo Relativo del MP <sub>2,5</sub>
IRA Alta (J00-J06)	Menor a 1 año	-	-
	1 a 4 años	1,00360	1,00528
	5 a 14 años	1,00712	1,00931
	15 a 64 años	1,00488	1,00670
	65 años o más	1,00707	-
Influenza (J09-J11)	Menor a 1 año	-	-
	1 a 4 años	-	1,04133
	5 a 14 años	1,02347	1,04844
	15 a 64 años	-	1,03118
	65 años o más	-	-
Neumonía (J12-J18)	Menor a 1 año	-	-
	1 a 4 años	-	-
	5 a 14 años	-	-
	15 a 64 años	-	-
	65 años o más	1,00699	-
Bronquitis/Bronquiolitis Aguda (J20-J21)	Menor a 1 año	-	-
	1 a 4 años	-	-
	5 a 14 años	-	-
	15 a 64 años	-	-
	65 años o más	-	-
Crisis Obstructiva Bronquial (J40-J46)	Menor a 1 año	-	-
	1 a 4 años	-	-
	5 a 14 años	1,01979	1,01776
	15 a 64 años	1,01035	-
	65 años o más	1,00949	1,01207
Otras Causas Respiratorias (J22, J30-J39, J47, J60-J98)	Menor a 1 año	-	-
	1 a 4 años	-	-
	5 a 14 años	-	-
	15 a 64 años	-	-
	65 años o más	-	-

Fuente: Elaboración propia. Nota: Se presenta el valor obtenido con el mejor ajuste de los modelos con y sin rezago de acuerdo al criterio AIC.

## Discusión

En esta investigación se pudo comprobar un efecto significativo de la contaminación del aire por material particulado sobre las atenciones de urgencias por causas respiratorias en las comunas de Chillán, Concepción y Los Ángeles. Especialmente, IRA alta y Bronquitis/Bronquiolitis aguda en Chillán, IRA alta en Concepción, y además, IRA alta, Influenza y Crisis obstructiva bronquial en Los Ángeles. Esta asociación se obtuvo a través de mediciones de contaminación del aire externo reportadas por las estaciones de monitoreo de la red SINCA. Sin embargo, estas estaciones de monitoreo no miden la contaminación intradomiciliaria que también se produce en muchos hogares por la quema de combustibles para calefacción (carbón, parafina, gas, entre otros). Esta información es relevante ya que para muchas personas los riesgos sobre la salud de la contaminación intradomiciliaria pueden ser mayores que la contaminación del aire exterior<sup>29</sup>. Por lo anterior, cobran relevancia las acciones preventivas que pueden realizar las mismas familias al sustituir calefactores muy contaminantes, y también, la autoridad a través de los programas de recambio de calefactores y aislamiento térmico de viviendas que se realizan en el marco de los Planes de Descontaminación Atmosférica impulsados por el Ministerio del Medio Ambiente. Por otro lado, sería útil la implementación de un sistema predictivo que permita a la autoridad ambiental establecer con anticipación restricciones al uso de calefactores a leña u otras fuentes emisoras de material particulado, y también, le permita a la autoridad sanitaria proyectar las necesidades de recursos humanos y físicos para afrontar el incremento en la demanda por atenciones de urgencias respiratorias<sup>v</sup>.

Dentro de las fortalezas del estudio se puede mencionar que los resultados de los riesgos relativos obtenidos son bastante conservadores, ya que solo se reportaron si en todas las especificaciones de los modelos estimados se obtenían impactos positivos y estadísticamente significativos. Esto es importante ya que los coeficientes (y riesgos relativos) estimados en muchos estudios suelen ser bastante sensibles a la inclusión o exclusión

de variables. También, es importante la desagregación etaria porque permite analizar en los efectos de diversos subgrupos de la población y establecer cuáles de ellos son los más afectados. Entre las debilidades del estudio se puede mencionar la discontinuidad de algunas variables de contaminación y/o variables meteorológicas obtenidas de las estaciones de monitoreo, la falta de más estaciones de monitoreo por comuna para poder discriminar el efecto de la contaminación sobre distintas zonas de influencia de los centros de salud dentro de una misma comuna y la falta de un registro de contaminación intradomiciliaria. También, existen limitaciones al utilizar los datos del DEIS ya que podría haber un sesgo asociado al registro de consultas de urgencia repetidas, o bien, podrían existir pacientes asmáticos incluidos en los registros de IRA alta o influenza. Por lo anterior, se recomienda mejorar los sistemas de registros en el Ministerio del Medio Ambiente y Sistema de Salud para subsanar los problemas enfrentados al desarrollar estudios epidemiológicos de este tipo en nuestro país.

Aunque los valores de riesgo relativos reportados en este estudio tienen una magnitud relativamente baja, esto no debería interpretarse como una problemática menor en las políticas de salud pública, ya que en las ciudades estudiadas un muy alto porcentaje de la población se encuentra expuesta a la contaminación, por lo cual el riesgo atribuible poblacional porcentual es alto.

Finalmente, cabe destacar que a partir del número de atenciones de urgencias por año y los coeficientes estimados para cada comuna, enfermedad y grupo etario se puede obtener el incremento anual en las atenciones de urgencia producidas por un aumento en las concentraciones de material particulado. Así, el aumento de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en las concentraciones diarias de  $\text{MP}_{2,5}$  incrementaría las atenciones de urgencia en 2.414 para Chillán, 8.826 para Concepción y 5.127 para Los Ángeles, mientras que el aumento de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en las concentraciones diarias de  $\text{MP}_{10}$  incrementaría las atenciones de urgencia en 2.801 para Chillán, 9.195 para Concepción y 3.890 para Los Ángeles. No obstante, se debe evitar la doble contabilización de casos ya que ambos contaminantes están altamente relacionados, por lo cual si solo se contabilizan las atenciones de salud producidas por un aumento en las concentraciones diarias de  $\text{MP}_{2,5}$  (que de acuerdo a la literatura es el contaminante más dañino para la salud, ya que las partículas más finas tienen mayor capacidad para penetrar en el árbol respiratorio, por lo cual llegan fácilmente a los bronquiolos y alvéolos, para luego ser transportadas a otros órganos a tra-

v Cabe mencionar que actualmente la Universidad de Concepción a través del proyecto de interés público "Respira Biobío" está implementando un sistema de pronóstico del riesgo de enfermedades respiratorias en la región del Biobío y Ñuble (dos de los autores de este estudio forma parte del equipo de trabajo en ese proyecto).

vés del torrente sanguíneo) y el incremento en las atenciones de salud producidas exclusivamente por el MP<sub>10</sub> en enfermedades o grupos etarios que según este estudio no se vieron afectados por el MP<sub>2,5</sub> se concluye que las atenciones de urgencia se incrementarían en 2.963 para Chillán, 10.186 para Concepción y 5.546 para Los Ángeles.

## Bibliografía

- 1.- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (2014). Estrategia de Descontaminación Atmosférica en Chile: 2014-2018, Ministerio del Medio Ambiente. Recuperado de: <http://portal.mma.gob.cl/planes-de-descontaminacion-atmosferica-estrategia-2014-2018>.
- 2.- CURTIS L, REA W, SMITH-WILLIS P, FENYVES E, PAN Y. Adverse health effects of outdoor air pollutants. *Environ Int* 2006; 32: 815-30.
- 3.- WANG X, WANG W, JIAO S, YUAN J, HU C, WANG L. The effects of air pollution on daily cardiovascular diseases hospital admissions in Wuhan from 2013 to 2015. *Atmos Environ* 2018; 182: 307-12.
- 4.- LI Y, XIAO C, LI J, TANG J, GENG X, CUI L, et al. Association between air pollution and upper respiratory tract infection in hospital outpatients aged 0-14 years in Hefei, China: a time series study. *Public Health* 2018; 156: 92-100.
- 5.- GUO P, FENG W, ZHENG M, LV J, WANG L, LIU J, et al. Short-term associations of ambient air pollution and cause-specific emergency department visits in Guangzhou, China. *Sci Total Environ* 2018; 613-4: 306-13.
- 6.- GOUVEIA N, JÜNGER W-L. Effects of air pollution on infant and children respiratory mortality in four large Latin-American cities. *Environ Pollut* 2018; 232: 385-91.
- 7.- TAO Y, MI S, ZHOU S, WANG S, XIE X. Air pollution and hospital admissions for respiratory diseases in Lanzhou, China. *Environ Pollut* 2014; 185: 196-201.
- 8.- ROMÁN O, PRIETO M, MANCILLA F, ASTUDILLO P, ACUÑA C, DELGADO I. Aumento del riesgo de consultas cardiovasculares por contaminación atmosférica por partículas: Estudio en la ciudad de Santiago. *Rev Chil Cardiol* 2009; 28: 159-64.
- 9.- HYUNG J, HWA S, JONG S, RYU S, WOON S, JIN H, et al. Air pollutants and atmospheric pressure increased risk of ED visit for spontaneous pneumothorax. *Am J Emerg Med* 2018; 36: 2249-53.
- 10.- LINARES C, FALCON I, ORTIZ C, DÍAZ J. An approach estimating the short-term effect of NO<sub>2</sub> on daily mortality in Spanish cities. *Environ Int* 2018; 116: 18-28.
- 11.- VANOS J, HEBBERN C, CAKMAK S. Risk assessment for cardiovascular and respiratory mortality due to air pollution and synoptic meteorology in 10 Canadian cities. *Environ Pollut* 2014; 185: 322-32.
- 12.- COLLART P, DUBOURG D, LEVÊQUE A, BUSTOS N, COPPIETERS Y. Short-term effects of nitrogen dioxide on hospital admissions for cardiovascular disease in Wallonia, Belgium. *Int J Cardiol* 2018; 255: 231-6.
- 13.- KUMAR A, ATTRI A. Correlating respiratory disease incidences with corresponding trends in ambient particulate matter and relative humidity. *Atmos Pollut Res* 2016; 7: 858-64.
- 14.- PRIETO L, YOHANNESSEN K, BREA C, VIDAL D, UBILLA C, RUIZ P. Air pollution, PM<sub>2,5</sub> composition, source factors, and respiratory symptoms in asthmatic and nonasthmatic children in Santiago, Chile. *Environ Int* 2017; 101: 190-200.
- 15.- FRANCK U, LEITTE A, SUPPAN P. Multifactorial airborne exposures and respiratory hospital admissions-The example of Santiago de Chile. *Sci Total Environ* 2015; 502: 114-21.
- 16.- VALDÉS A, ZANOBETTI A, HALONEN J, CIFUENTES L, MORATA D, SCHWARTZ J. Elemental concentrations of ambient particles and cause specific mortality in Santiago, Chile: a time series study. *Environ Health* 2012; 11: 82.
- 17.- CAKMAK S, DALES R, VIDAL C. Air Pollution and Mortality in Chile: Susceptibility among the Elderly. *Environ Health Perspect* 2007; 115: 524-7.
- 18.- CAKMAK S, DALES R, RUBIO M, BLANCO C. The risk of dying on days of higher air pollution among the socially disadvantaged elderly. *Environ Res* 2011; 111: 388-93.
- 19.- DÍAZ L, FU J, VERGARA A, EYCHARREN P, SCHIAPPACASSE L, REED G, et al. Health risks caused by short term exposure to ultrafine particles generated by residential wood combustion: A case study of Temuco, Chile. *Environ Int* 2014; 66: 171-84.
- 20.- SANHUEZA P, VARGAS C, MELLADO P. Impacto de la contaminación del aire por MP<sub>10</sub> sobre la mortalidad diaria en Temuco. *Rev Med Chile* 2006; 134: 754-61.
- 21.- MARDONES C, SAAVEDRA A, JIMÉNEZ J. Cuantificación económica de los beneficios en salud asociados a la reducción de la contaminación por MP<sub>10</sub> en Concepción Metropolitana, Chile. *Rev Med Chile* 2015; 143: 475-83.
- 22.- LARA B, AGUILERA P, GARRIDO M, HIRSCH T, SWADRON S, SALDÍAS F. Consultas ambulatorias pediátricas atendidas en el Servicio de Urgencia de un hospital universitario. *Rev Chil Pediatr* 2014; 85: 174-82.
- 23.- ARDILES L, TADANO Y, COSTA S, URBINA V, CA-PUCIM M, SILVA I, et al. Negative Binomial regression model for analysis of the relationship between hospitalization and air pollution. *Atmos Pollut Res* 2018; 9: 331-40.
- 24.- TROLEZ C, COSTA L. Asthma and air pollutants: a time series study. *Rev Assoc Med Bras* 2012; 58: 302-7.
- 25.- NHUNG N, SCHINDLER C, DIEN T, PROBST-

- HENSCH N, PÉREZ L, KÜNZLI N. Acute effects of ambient air pollution on lower respiratory infections in Hanoi children: An eight-year time series study. *Environ Int* 2018; 110: 139-48.
- 26.- MCCULLAGH P, NELDER JA. *Generalized Linear Models*. 2<sup>nd</sup> Edition. Chapman and Hall. London & New York. 1989.
- 27.- HEINZE G, WALLISCH, DUNKLER D. Variable selection - A review and recommendations for the practicing statistician. *Biom J* 2018; 60: 431-49.
- 28.- BAHRAMI F, LEILI M, VAZIRI Y, ARIAN S, CRISTALDI A, CONTI G, et al. Health impacts quantification of ambient air pollutants using AirQ model approach in Hamadan, Iran. *Environ Res* 2018; 161: 114-21.
- 29.- CINCINELLI A, MARTELLINI T. Indoor Air Quality and Health. *Int J Environ Res Public Health* 2017; 14: 1286.

---

Correspondencia a:  
Cristián Mardones P.  
Profesor Asociado,  
Departamento de Ingeniería Industrial,  
Universidad de Concepción;  
Edmundo Larenas 219, Concepción, Chile.  
E-mail: crismardones@udec.cl