

UCH-Fc
Q. Ambiental
V 145
C. 2



FACULTAD DE CIENCIAS

UNIVERSIDAD DE CHILE

“EFECTO DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN EL AUMENTO DE LA INCIDENCIA DE ATENCIONES HOSPITALARIAS DE URGENCIA POR PATOLOGÍAS RESPIRATORIAS Y CARDIACAS EN LA REGION METROPOLITANA.”

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de:

Químico Ambiental



Nicolás Fernando Valdés Ortega

Director de Seminario de Título: Dr. Raúl Morales Segura

Co-director de Seminario de Título: Dr. Richard Toro Araya

Julio de 2016
Santiago – Chile

ESCUELA DE PREGRADO – FACULTAD DE CIENCIAS – UNIVERSIDAD DE CHILE



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por el candidato:

NICOLÁS FERNANDO VALDÉS ORTEGA

“EFECTO DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN EL AUMENTO DE LA
INCIDENCIA DE ATENCIONES HOSPITALARIAS DE URGENCIA POR
PATOLOGÍAS RESPIRATORIAS Y CARDIACAS EN LA REGION
METROPOLITANA”

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Químico Ambiental

COMISIÓN DE EVALUACIÓN

Raúl Morales Segura

Director Seminario de Título

Richard Toro Araya

Co-director Seminario de Título

Patricia Matus Correa

Presidente

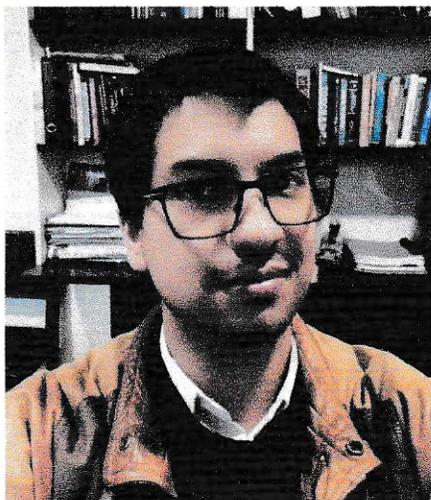
Manuel Leiva Guzmán

Corrector

Raúl Morales Segura
Richard Toro Araya
Patricia Matus Correa
Manuel Leiva Guzmán



Santiago de Chile, Julio de 2016



Nicolás Fernando Valdés Ortega nació el 7 de septiembre de 1989 en la ciudad de Santiago, Chile. Ingresó en 1996 al Liceo Ruiz Tagle, ubicado en Estación Central, en donde cursó toda su educación básica y media, finalizando el año 2007. El año 2008 ingresó a la carrera de Química Ambiental de la Universidad de Chile. A mediados del 2011 comienza a trabajar en el laboratorio de Termodinámica Estadística junto al profesor Boris Weiss López, lo que se tradujo en el escrito de su Unidad de Investigación el año 2013. En el año 2014 comienza a trabajar junto al profesor Richard Toro, buscando relacionar los contaminantes atmosféricos con los efectos en la salud de las personas. En el año 2015 comienza a realizar estudios de postgrado, específicamente el Magíster de Epidemiología de la Universidad de los Andes. Finalmente, el año 2016 y después de un largo camino, se titula como Químico Ambiental de la Universidad de Chile.

Agradecimientos

En primer lugar, a todos los profesores de la carrera, en especial al Dr. Raúl Morales Segura, al Dr. Richard Toro Araya y al Dr. Manuel Leiva quienes me apoyaron desde el principio en realizar este largo proyecto. Al profesor Patricio Rivera Latorre y al profesor Boris Weiss quienes también desde comenzada mi travesía en la carrera confiaron en mí y me dieron la oportunidad de trabajar con ellos. Un cordial saludo también para la profesora Sylvia Copaja y para la profesora Cecilia Labbé quienes han puesto mucho de su esfuerzo por esta noble carrera. Junto con ellas, un muy especial saludo a la señorita Marisol Aravena por su paciencia y su buena voluntad siempre con nosotros y en especial, por sus interminables historias en el sitio no oficial de fcbk...

A mis profesores del Liceo, el señor Tirano (alias Jaime Molina) y al señor Chino Díaz, quienes fueron de los pocos que me dieron su amistad en el colegio y en gran parte debo a ellos el estar adonde estoy ahora.

Agradezco a todos mis profesores del Magister de Epidemiología de la Universidad de los Andes, sin ellos este trabajo hubiera sido casi imposible. En especial a la profesora Patricia Matus, quien ha sido un gran apoyo y una guía importante en esta nueva etapa.

A todos mis amigos, a aquellos que han estado en las buenas y en las malas, quienes han sido un bastón cuando les necesité y me han acompañado alegrando este largo caminar. Al señor Felipe Vera, Edward Vargas, Luis Oyarzun y Matías Pastelón Gonzalez quienes han estado desde siempre conmigo. A mis amigas Pamela Sánchez, Karelía Karamelo Morado, Ariadna Iserte y Magaly Smets, con quienes a pesar de la distancia y a veces la poca comunicación siempre han estado allí. Deseo agradecer también a personas especiales que me ayudaron en momentos precisos como la Cynthia, Anita y el Franco. Además, quiero mencionar a dos personas especiales, Victoria Concha y Javiera Vargas ya que gracias a conversaciones con ustedes pude darme cuenta de ciertas cosas y hoy en día me han ayudado un montón

Muchas gracias a mis amigos de la carrera, al Camilo y al Milo quienes desde el primer día fueron grandes compañeros y amigos. A la Yenderi, Katherine y la Carolina quienes también fueron grandes compañeras. A la Belu y al Cabe que me "adoptaron"

después que congelé un año. ¡Gracias chiquillos! Hicieron de mi estadía un camino bastante agradable

Finalmente quiero agradecer a mi familia, quienes desde el primer día me apoyaron. Muchas gracias por cada uno de los bellos momentos que me han dado y por todo el cariño que he recibido de parte suya. Les amo con el alma. ¡Esto es para ustedes!

Índice General

RESUMEN.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. Antecedentes Generales.....	2
1.1.1. Contaminantes de la Atmosfera Urbana.....	2
1.1.2. Fuentes de contaminantes.....	2
1.2. Antecedentes específicos.....	3
1.2.1. Monitoreo de Calidad de Aire.....	3
1.2.2. Efectos agudos de los contaminantes sobre la salud de las personas.....	5
1.2.3. Efectos agudos de los contaminantes en Chile.....	6
1.2.4. Estudios Epidemiológicos.....	6
1.3. Hipótesis.....	8
1.4. Objetivos.....	8
1.4.1. Objetivo General.....	8
1.4.2. Objetivos Específicos.....	8
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
2.1. Descripción del área de estudio.....	9
2.2. Diseño experimental.....	9
2.3. Descripción de la obtención de los datos de calidad de aire.....	11
2.4. Validación de datos y estimación de índices de calidad de aire.....	11
2.5. Atenciones de urgencia por enfermedades cardiorrespiratorias.....	14
2.6. Análisis estadísticos.....	14
2.6.1. Análisis de series temporales.....	14
2.6.2. Análisis de correlación.....	15
2.6.3. Análisis de tiempo de desfase.....	16

2.6.4.	Modelo de Regresión de Poisson.....	17
III.	RESULTADOS.....	22
3.1.	Análisis descriptivo	22
3.1.1.	Análisis de calidad de aire y episodios críticos.....	23
3.1.2.	Análisis de admisiones hospitalarias de urgencia.....	28
3.2.	Análisis de correlación.....	30
3.3.	Análisis de desfase.....	32
3.4.	Análisis de regresión de Poisson.....	33
IV.	DISCUSIÓN.....	43
4.1.	Evaluación de los indicadores de calidad de aire.....	43
4.2.	Ingresos hospitalarios por urgencias	44
4.3.	Análisis de correlación entre los contaminantes atmosféricos y las admisiones hospitalarias.....	45
4.4.	Evaluación de los tiempos de desfase.....	46
4.5.	Análisis de la regresión de Poisson	47
V.	CONCLUSIONES	50
VI.	BIBLIOGRAFIA.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Requisitos de validez para los valores de los contaminantes según su normativa	12
Tabla 2 Resumen de los indicadores diarios de calidad de aire obtenidos para cada contaminante, usando como ejemplo el MP ₁₀ .	13
Tabla 3 Clasificación internacional de enfermedades cardíacas y respiratorias con sus respectivas abreviaturas	14
Tabla 4 Tiempo de desfase en las enfermedades respiratorias junto al material particulado entre el primero y el catorce de enero de 2009.	17
Tabla 5 Ingresos hospitalarios por urgencias debido a las patologías cardiorrespiratorias según grupo etario.	22
Tabla 6 Coeficientes de correlación de Pearson entre los diferentes contaminantes atmosféricos y las condiciones atmosféricas	24
Tabla 7 Descripción de los contaminantes atmosféricos y variables meteorológicas durante el periodo de estudio.	24
Tabla 8 Ingresos por urgencias debido a enfermedades respiratorias según grupo etario.	29
Tabla 9 Ingresos por atenciones de urgencia debido a enfermedades cardíacas según grupo etario.	29
Tabla 10 Coeficientes de correlación de Pearson entre los ingresos hospitalarios debido al total de patologías cardiorrespiratorias y los contaminantes atmosféricos según grupo etario.	30
Tabla 11 Coeficientes de correlación de Pearson entre las enfermedades respiratorias y contaminantes atmosféricos para el grupo de los menores de un año de edad.	31
Tabla 12 Coeficientes de correlación de Pearson entre las enfermedades cardíacas y los contaminantes atmosféricos para el grupo de las personas entre 15 y 64 años de edad (G4).	32

Tabla 13 Regresión de Poisson entre las patologías respiratorias y los valores medios diarios de las características atmosféricas para el grupo de los menores de un año. _	34
Tabla 14 Regresión de Poisson entre las patologías respiratorias y los promedios de los máximos promedios móviles de contaminantes para el grupo de los menores de un año. _____	35
Tabla 15 Regresión de Poisson entre las patologías respiratorias y los valores medios diarios de las características atmosféricas para el grupo de los individuos entre 5 y 14 años de edad _____	37
Tabla 16 Regresión de Poisson entre las patologías respiratorias y los promedios de los máximos promedios móviles de contaminantes para el grupo de los individuos entre 5 y 14 años de edad. _____	38
Tabla 17 Regresión de Poisson entre las patologías cardíacas y los valores medios diarios de las características atmosféricas para el grupo de los individuos entre 15 y 64 años de edad _____	39
Tabla 18 Regresión de Poisson entre las patologías cardíacas y los promedios de los máximos promedios móviles de contaminantes para el grupo de los individuos entre 15 y 65 años de edad _____	40
Tabla 19 Aumento típico de los niveles de contaminantes atmosféricos durante una semana en los meses de invierno. _____	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Serie temporal con PM10, PM2,5, NOX, Crisis Hipertensiva para el grupo de edad entre 15 y 65 años, Crisis Obstructiva Bronquial y Neumonía para el grupo de los menores de un año de edad	23
Figura 2 Serie temporal de los valores máximos diarios del promedio móvil de 24 horas para el MP ₁₀	25
Figura 3 Serie temporal de los valores máximos diarios del promedio móvil de 24 horas para el MP _{2,5}	26
Figura 4 Dispersión del Material Particulado Fino, Material Particulado Grueso, Óxidos de Nitrógeno y Monóxido de Carbono durante los meses invernales en el periodo de estudio.....	28
Figura 5 Evolución de los coeficientes de correlación según el tiempo de desfase.....	33

RESUMEN

Diversos estudios tanto nacionales como internacionales han relacionado la concentración de los contaminantes atmosféricos con la morbilidad y mortalidad debido a las enfermedades cardiorrespiratorias, demostrando que el incremento en la concentración de dichos contaminantes está causando un mayor número de muertes y un aumento en el número de consultas por urgencias debido a dichas patologías.

El presente estudio busca demostrar dicha hipótesis a nivel nacional con información de la Región Metropolitana incorporando todos los contaminantes normados en la legislación chilena. Por tanto, el objetivo del presente seminario es determinar en primer lugar, cuáles son los contaminantes más nocivos en términos agudos y, en segundo lugar, establecer el riesgo que implica el aumento de la concentración de dichos contaminantes. Así mismo, se plantea que existe un tiempo de desfase entre los aumentos en la concentración de contaminantes y el incremento de las admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias y cardíacas de entre 1 y 7 días, lo cual se pondrá a prueba en este estudio.

Para alcanzar estos objetivos se analizan los índices de calidad de aire registrados por el Sistema de Información Nacional de Calidad de Aire (SINCA) y los ingresos hospitalarios de urgencia de todos los servicios de atención primaria incluyendo hospitales, SAPU, postas de salud, centros de salud familiar y consultorios obtenidos por el Departamento de Estadísticas e Información de Salud (DEIS) del Ministerio de Salud entre los años 2009-2013 para toda la Región Metropolitana. Se plantea un enfoque epidemiológico ecológico, en donde se correlacionan las concentraciones diarias de los contaminantes del aire y variables meteorológicas con los ingresos hospitalarios diarios por enfermedades respiratorias y cardíacas para toda la población de la Región Metropolitana de Santiago. Las enfermedades respiratorias incluidas en el estudio según la Clasificación Internacional de Enfermedades en su décima versión (CIE10) son: J00-J06 (Infección Respiratoria Aguda alta), J09-J11 (Influenza), J12-J18 (Neumonía), J20-J21 (Bronquitis/bronquiolitis aguda), J40-J46 (Crisis Obstructiva Bronquial) y otras causas respiratorias (J22, J30-J39, J47, J60-J98), además de las causas cardíacas I21 (Infarto Agudo al miocardio), I64 (accidente vascular encefálico), I11 (crisis hipertensiva), I49 (arritmia grave) y otras causas cardíacas. Como variables confusoras se utilizan la

temperatura media diaria y la humedad relativa media diaria registrada en las 11 estaciones de monitoreo de la Región Metropolitana.

Los resultados muestran una correlación positiva entre las enfermedades respiratorias y los contaminantes atmosféricos para todos los grupos etarios, no así con las enfermedades cardíacas. Mayores correlaciones se observan en el grupo de los lactantes y los menores de 5 años. Entre los gases y partículas contaminantes que presentan mayores valores en los coeficientes de correlación con las enfermedades respiratorias son los óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono y el material particulado fino ($PM_{2.5}$). Las enfermedades que se ven fuertemente influenciadas por dichos contaminantes son la influenza, neumonía, crisis obstructiva bronquial y la bronquitis para los grupos menores de 5 años y el grupo de los lactantes. Los modelos de regresión de Poisson muestran resultados consistentes, en donde se observa un mayor riesgo agudo atribuible a los óxidos de nitrógeno y el monóxido de carbono. Se establece un riesgo relativo de 1,53 (IC95% 1,29-1,82) para la influenza por el aumento de un ppm de CO en los menores de un año de edad implicando un riesgo atribuible de un 53,8% para dicho aumento en concentración, un riesgo relativo de 1,06 (IC95% 1,052-1,075) en influenza para el grupo de los menores de 5 años por el aumento de un ppb en NO_2 lo que implica un riesgo atribuible de 6,42% mayor, y un riesgo relativo de 1.011 (IC95% 1,005-1,016) en neumonía para el mismo grupo por el aumento de 1ppb de NO_2 , significando un 11,2% mayor de riesgo atribuible cuando dicho contaminante aumenta en 10 ppb.

El análisis de los tiempos de desfase entre la ocurrencia de incrementos en la concentración de CO, NO_x y $PM_{2.5}$ y su relación con el aumento de las consultas de urgencia por enfermedades resultó en incrementos de los índices de correlación para desfases de entre 4 y 7 días, en donde por ejemplo para el NO_2 y los ingresos por crisis obstructiva bronquial es mayor al quinto día en el grupo de los niños mayores de 5 años y menores de 15, o donde para las personas mayores de 65 años se observa un mayor índice de correlación entre los NO_x y la neumonía en el sexto día posterior a la exposición de la contaminación.

Así mismo, se determina que entre las patologías cardíacas la enfermedad que posee mejores índices de correlación corresponde a la Crisis Hipertensiva, principalmente en el grupo de las personas mayores de 15 años y menores de 65 años,

obteniéndose un RR de 1,0387 (IC95% 1,035-1,041) por el aumento de un ppb de NO_x, lo que implica un riesgo atribuible de 3,87% cuando se presenta dicho aumento en concentración.

Respecto a los tiempos de desfase obtenidos para las enfermedades cardiacas el resultado difiere debido a que los efectos agudos se presentan al instante y rápidamente se exagera el efecto de dichas patologías.

De este modo se entrega evidencia que la mezcla de contaminantes atmosféricos genera efectos adversos agudos sobre la población, especialmente en aquellas personas vulnerables como los menores de 5 años y los mayores de 65 años. Por lo tanto, se hace necesario tomar medidas de mitigación y mejorar las normas primarias de calidad de aire para todos los contaminantes, pero teniéndose en cuenta particularmente los Óxidos de Nitrógeno, Monóxido de Carbono y Material Particulado Fino.

ABSTRACT

Several national and international studies have linked the concentration of air pollutants with morbidity and mortality due to cardio-respiratory diseases, showing that the increase in the concentration of these pollutants are causing more deaths and an increase in the number of queries by emergency due to these pathologies.

This study seeks to demonstrate this hypothesis nationwide with information in the metropolitan region incorporating all pollutants regulated under Chilean law. Therefore, the objective of this seminar is to first determine what are the most harmful pollutants in sharp terms are and, secondly, to establish the risk involved increasing the concentration of these pollutants. Likewise, it states that there is a time lag between increases in the concentration of pollutants and increased hospital admissions for respiratory and heart between 1 and 7 days diseases, which will be tested in this study.

To achieve these objectives indexes air quality recorded by the National Information System on Air Quality (SINCA) and hospital emergency admissions of all primary care services including hospitals, SAPU, health posts, centers analyzed family and doctor obtained by the Department of health Statistics and Information (DEIS) of the Ministry of health between 2009-2013 for health throughout the metropolitan area. an ecological epidemiological approach, where the daily concentrations of air pollutants and meteorological variables with daily hospital admissions for respiratory and heart for the entire population of the Metropolitan Region of Santiago correlate disease arises. Respiratory diseases included in the study according to the International Classification of Diseases in its tenth edition (ICD-10) are: J00-J06 (acute respiratory infection high), J09-J11 (Influenza), J12-J18 (Pneumonia), J20-J21 (bronchitis / bronchiolitis), J40-J46 (Crisis Obstructive Bronchial) and other respiratory causes (J22, J30-J39, J47, J60-J98), in addition to cardiac causes I21 (acute infarction), I64 (cerebrovascular accident), I11 (hypertensive crisis), I49 (severe arrhythmia) and other cardiac causes. As confounders the average daily temperature and daily average relative humidity recorded at 11 monitoring stations in the metropolitan region are used.

The results show a positive correlation between respiratory diseases and air pollutants for all age groups, but not with heart disease. Higher correlations are observed in the group of infants and children under 5 years. Among the gaseous and particulate

pollutants that have higher values in the correlation coefficients with respiratory diseases are nitrogen oxides, carbon monoxide and fine particulate matter (PM_{2.5}). Diseases that are strongly influenced by these contaminants are influenza, pneumonia, obstructive bronchitis and bronchial crises for smaller groups of 5 years and the group of infants. The Poisson regression models show consistent results, where a greater acute risk attributable to nitrogen oxides and carbon monoxide is observed. a relative risk of 1.53 is established (95% CI 1.29 to 1.82) for influenza by the increase of CO ppm in under one year of age implying an attributable risk of 53.8% for the increase in concentration, a relative risk of 1.06 (95% CI 1.052 to 1.075) in influenza for the group of children under 5 years by the increase of NO₂ ppb which implies an attributable risk of 6.42% higher and a relative risk of 1.011 (95% CI 1.005 to 1.016) in the same group for pneumonia increased by 1 ppb of NO₂, meaning 11.2% higher attributable risk when said contaminant increases by 10 ppb.

Analysis of the time lag between the occurrence of increases in the concentration of CO, NO_x and PM_{2.5} and its relationship with increased emergency visits for diseases resulted in increases in correlation indices for mismatches between 4 and 7 days, where for example for NO₂ and income by bronchial obstructive crisis it is higher than the fifth day in the group of children aged 5 years and younger than 15, or where for people over 65 is observed more index correlation between NO_x and pneumonia in the sixth day after exposure to pollution.

Likewise, it is determined that between heart disease pathologies that has better correlation indexes corresponds to hypertensive crisis, mainly in the group of people aged 15 years and under 65, giving a RR of 1.0387 (IC95 1.035 to 1.041%) by the increase of NO_x ppb, which implies an attributable risk of 3.87% in concentration when said increase occurs.

Regarding lag times for heart disease obtained the result differs because the acute effects occur instantly and quickly the effect of these diseases is exacerbated.

Thus evidence is provided that the mixture of air pollutants generated acute adverse effects on the population, especially in vulnerable people such as children under 5 years and those over 65 years. Therefore , it is necessary to take mitigation measures

and improve primary air quality standards for all pollutants , but taking into account particularly nitrogen oxides , carbon monoxide and fine particulate material .

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes Generales

1.1.1. Contaminantes de la Atmósfera Urbana

La atmósfera de un centro urbano es un completo universo que actúa como un reactor químico en donde diversos agentes interactúan entre sí, dando lugar a múltiples reacciones químicas tanto orgánicas como inorgánicas, ya sea en fase sólida, líquida o gaseosa, siendo esto lo que en conjunto se define como Química Atmosférica Urbana (Morales, 2006).

Las causas que ocasionan la contaminación atmosférica son diversas, siendo las actividades antropogénicas las que más contribuyen en dicho problema. Además de aquello, el grado de contaminación está influenciado por otros factores como son el clima y la topografía. El clima influye en la persistencia de los contaminantes atmosféricos; el viento, la temperatura, la humedad relativa y la radiación solar modifican de modo drástico la dispersión y el tipo de contaminantes que pueda haber en un determinado momento. La topografía por su parte influye en el movimiento de las masas de aire y por lo tanto en la permanencia de dichas masas de aire con contaminantes en determinadas zonas geográficas. Por tanto, la unión de estos factores determinan la calidad del aire (Alvarado et al., 2010).

1.1.2. Fuentes de contaminantes

Dependiendo de las características de las fuentes emisoras, estas se pueden clasificar como fuentes móviles, fijas o fugitivas. Las fuentes móviles consisten en todas las emisiones provenientes de tubos de escape, desgastes de frenos y neumáticos de los distintos medios de transporte. Por otra parte, las fuentes fijas son constituidas por todas las emisiones generadas por la quema de combustibles para procesos industriales y residenciales como la producción de energía, calefacción y otros procesos. Además, considera otro tipo de emisiones como el de la quema de biomasa para calefacción de viviendas. Finalmente, las fuentes fugitivas son aquellas que no están canalizadas por ductos, como por ejemplo provenientes de calles pavimentadas y no pavimentadas, edificios en demolición y construcciones entre otras. Al momento de implementar medidas de gestión para controlar la calidad de aire, deberá tenerse en cuenta siempre

el tipo de contaminante y la fuente de origen con el objetivo de producir un mayor impacto positivo en la calidad del aire.

La contaminación por NO_2 , y SO_2 se debe a emisiones directas de dichos contaminantes a la atmósfera, ya sea de origen natural o antropogénico. El ozono es un contaminante secundario que se origina por reacciones fotoquímicas en la atmósfera entre los gases de NO_x , los compuestos orgánicos volátiles (COV) y otras especies presentes en la atmósfera. El material particulado puede ser emitido a la atmósfera de manera directa denominándose material particulado primario, o bien puede ser formado por reacciones en la atmósfera entre contaminantes precursores como el SO_2 , NO_x y NH_3 , por lo cual es considerado además como un contaminante secundario.

1.2. Antecedentes específicos

En la cuenca de la Región Metropolitana, la atmósfera urbana es un sistema en el cual variados procesos meteorológicos y físico-químicos actúan provocando episodios de alta contaminación en los meses de otoño e invierno. Tanto la geografía como la climatología generan condiciones desfavorables en torno a la dispersión de los contaminantes atmosféricos, siendo influenciada mayormente por la estabilidad atmosférica cerca de la superficie durante el periodo nocturno y del desarrollo de la capa de mezcla junto a los vientos al interior en el periodo diurno. Sumado a aquello, los altos niveles de emisiones de contaminantes determinan que Santiago haya sido una de las ciudades más contaminadas del continente

Durante esos meses de invierno además se presentan un alto número de ingresos hospitalarios causados por enfermedades respiratorias, siendo los grupos más susceptibles aquellos individuos menores de edad y los adultos mayores.

1.2.1. Monitoreo de Calidad de Aire

El monitoreo de calidad de aire está orientado principalmente a los contaminantes criterios:

- Material particulado respirable, con un diámetro menor a $10\mu\text{m}$ (MP_{10}),
- Material particulado fino, con un diámetro menor a $2,5\mu\text{m}$ ($\text{MP}_{2,5}$),
- Dióxido de azufre (SO_2), Óxidos de nitrógeno (NO_x , NO , NO_2), Ozono (O_3) y Monóxido de carbono (CO).

- Además, compuestos orgánicos volátiles (COV), hidrocarburos totales (HCT), metano (CH₄), Plomo (Pb), entre otros.

La gestión de la calidad de aire en Chile comenzó hace 50 años con medidas de comando y control con la promulgación del Decreto 144 del Ministerio de Salud en 1961, el cual establecía normas para evitar emanaciones de contaminantes atmosféricos de cualquier naturaleza, mas no fijó los límites de concentraciones de contaminantes atmosféricos. Recién en 1978, la Resolución 1215 del Ministerio de Salud estableció los primeros límites para dióxido de azufre, monóxido de carbono, ozono troposférico, dióxido de nitrógeno y partículas en suspensión, así como el método de análisis instrumental para dichos contaminantes. Actualmente, Chile cuenta con normas primarias de calidad ambiental con un alcance nacional, las que regulan la concentración de 6 contaminantes criterio en el aire, reconocidos como los principales y más nocivos que afectan a la salud de la población. Dichas normas establecen las concentraciones máximas respecto al material particulado fino y grueso, dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), ozono troposférico (O₃) y plomo (Pb) (Ministerio del Medio Ambiente, 2011; Morales, 2006).

Las mediciones de los contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana datan desde el año 1974. La puesta en marcha del Proyecto GEMS/AIR de la Organización Mundial de la Salud, permitió instalar en las principales ciudades del mundo estaciones de medición semicontinua, implementándose de esta forma la Red Panamericana de Muestreo Normalizado que operó en la Región Metropolitana. Para ello se instalaron estaciones manuales con metodologías simples y económicas que principalmente monitoreaban el polvo en sedimentable, acidez total, material particulado y corrosividad atmosférica.

Posteriormente en los años ochenta, la red fue complementada con equipos semicontinuos de gases y partículas, lo cual satisfacía la normativa de la EPA. En ese entonces se contaba con 8 estaciones monitoras.

Finalizando dicha década se instaló en la Región Metropolitana la primera Red de Monitoreo Automático de Contaminantes Atmosféricos (MACAM-1), lo que permitió medir Monóxido de carbono, ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y metano, además de partículas finas y gruesas.

Gracias al monitoreo realizado se evidenció que la Región Metropolitana presentaba un gran problema de contaminación atmosférica a nivel nacional, lo que motivó que en 1990 se creara la Comisión Especial de Descontaminación de la Región Metropolitana (CEDRM), organismo que sería responsable de implementar las medidas para el control de la contaminación del aire en la ciudad de Santiago.

En 1997 se financió la instalación de una nueva red de monitoreo (Red MACAM-2), la cual tenía el equipamiento suficiente para medir monóxido de carbono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, ozono troposférico, hidrocarburos totales: metánicos (CH₄) y no metánicos (NMH) además del material particulado respirable (MP₁₀).

Desde mediados del 2008 la red fue nuevamente ampliada tanto en su cobertura territorial como en la cantidad de contaminantes criterio medidos en todos los sitios, con lo que actualmente la Red está compuesta por 11 estaciones fijas semiautomáticas y automáticas distribuidas a lo largo y ancho de la cuenca de Santiago, más dos estaciones móviles, las que principalmente miden los contaminantes criterio: Material particulado respirable (MP₁₀), Dióxido de azufre (SO₂), Óxidos de nitrógeno (NO_x, NO, NO₂), Ozono (O₃) y Monóxido de carbono (CO), así como las condiciones meteorológicas como la temperatura, velocidad y dirección del viento.

1.2.2. Efectos agudos de los contaminantes sobre la salud de las personas

Es sabido que la contaminación atmosférica produce efectos en la salud (Atkinson et al., 2001; Jamie Mullins, 2015, p. -; Schwartz, 1994), lo que se ha documentado durante diversos episodios críticos en los cuales un alto índice de contaminación atmosférica ha producido un aumento en la mortalidad y morbilidad de las personas, es el caso de lo ocurrido en Donora, Pensilvania (Schwartz, 1994; Schwartz et al., 1996), donde luego de varios días el smog atrapado en el valle provocó la muerte de 20 personas, siendo este suceso uno de los primeros documentados.

Diversos estudios nacionales e internacionales relacionan altos índices de contaminación atmosférica con aumento en las muertes prematuras y con una incidencia mayor en patologías cardiorrespiratorias tanto en niños como adultos. Se ha demostrado por ejemplo que el aumento de MP₁₀ y MP_{2,5} en el aire incide en ingresos hospitalarios debido a patologías respiratorias como la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (COPD) y asma (Atkinson et al., 2001; Linares and Díaz, 2009; Neuberger et al., 2004).

Asimismo se ha asociado altos niveles de material particulado con enfermedades cardíacas como la cardiopatía isquémica, arritmias, aumento de presión sanguínea, insuficiencia cardíaca y paro cardíaco (Atkinson et al., 2001; Pope et al., 2004). Además la exposición a largo plazo de material particulado fino y dióxido de azufre provoca una alta mortalidad debido a enfermedades cardiorrespiratorias y cáncer pulmonar (Pope et al., 2002), así como efectos en los grupos de riesgo de la población (Beatty and Shimshack, 2014; Tao et al., 2014). Otros estudios sugieren que un aumento en las emisiones de CO, NO₂ y MP tiene una asociación significativa con una mayor mortalidad a causa de enfermedades cardíacas.

1.2.3. Efectos agudos de los contaminantes en Chile

Durante el año 2014, Ulrich Franck y sus colaboradores (Franck et al., 2014) publicaron un artículo científico el cual entrega información acerca de la exposición a diversos contaminantes atmosféricos y su incidencia frente al aumento en ingresos hospitalarios debido a patologías cardíacas en la Región Metropolitana de nuestro país. Para ello asociaron las concentraciones diarias en el ambiente de CO, O₃, NO₂, MP₁₀ y MP_{2,5} con las admisiones hospitalarias debido a enfermedades cardiovasculares.

La información de las admisiones hospitalarias fue entregada por el Departamento de estadísticas e información de salud (DEIS) del Ministerio de Salud y fueron resumidos por días según la clasificación internacional ICD-10. La información de calidad atmosférica fue obtenida a través del Sistema de información nacional de calidad del aire (SINCA) para los años entre el 2004-2007, en donde la exposición de los habitantes fue estimada calculando el promedio de las concentraciones de 7 estaciones de monitoreo (Independencia, Providencia, Parque O'Higgins, Pudahuel, Cerrillos, El Bosque y La Florida). Luego de realizar un estudio epidemiológico con las bases de datos obtenidas, encontraron asociaciones adversas principalmente entre los niveles de concentración de los contaminantes atmosféricos y las patologías respiratorias de la población, siendo mayores los efectos producto de NO₂, MP₁₀ y MP_{2,5}, no así con O₃.

1.2.4. Estudios Epidemiológicos

Para encontrar relaciones entre los altos índices de contaminación atmosférica y las patologías que afectan a la población, deben realizarse estudios epidemiológicos con la población afectada por la presencia de los contaminantes. La epidemiología es el

estudio de la distribución y los determinantes de estados o eventos (en particular de enfermedades) relacionados con la salud y la aplicación de esos estudios al control de dichas enfermedades y otros problemas de salud.

Uno de los análisis que se realiza en la epidemiología es el asociar el número de admisiones hospitalarias diarias con las enfermedades que causan dichos ingresos, determinar la distribución espacial y temporal de dicha información y además relacionar las diversas causas que pudieran estar afectando a la población y que tengan como consecuencia un aumento en la morbilidad de dicha comunidad.

Para realizar este tipo de estudio en Chile, la fuente de información primaria corresponde al Sistema de Información Nacional de Calidad de Aire (SINCA), el que entrega los índices de calidad de aire para cada estación de monitoreo ambiental. Esta base de datos se relaciona con la información disponible en el Departamento de Estadísticas e Información de Salud (DEIS) del Ministerio de Salud (MINSAL), en donde se pueden obtener las estadísticas de atenciones de urgencia, encontrándose la información diaria de admisiones hospitalarias a partir del año 2008. Dicha información puede subdividirse según distintos grupos etarios.

Las patologías utilizadas en el presente estudio están clasificadas según la clasificación internacional de enfermedades (CIE10), siendo utilizadas las enfermedades respiratorias:

- J00-J06 (Infección respiratoria aguda alta),
- J09-J11 (influenza),
- J12-J18 (neumonía),
- J20-J21 (bronquitis/bronquiolitis aguda),
- J40-J46 (crisis obstructiva bronquial) y
- otras causas respiratorias (J22, J30-J39, J47, J60-J98),

además de las causas cardíacas:

- I21 (infarto agudo al miocardio),
- I64 (accidente vascular encefálico),
- I11 (crisis hipertensiva),
- I49 (arritmia grave) y
- otras causas cardíacas.

Cabe destacar que a partir de estudios epidemiológicos como estos se ha podido demostrar con certeza el efecto que tiene la contaminación ambiental frente a la salud humana, por lo cual se requiere realizar dicho tipo de análisis epidemiológicos en nuestro país debido a la poca iniciativa tanto científica como estatal en elaborarlos. Además, otro beneficio de realizar este tipo de estudios es que orienta el tipo de medidas de control a implementar debido a que da cuentas del modo en el que la población se ve afectada por los diversos contaminantes, permitiendo establecer prioridades entre los distintos agentes que afectan la salud humana.

Es por lo anterior que se hace sumamente necesario realizar un análisis exhaustivo en el que se tomen en consideración todos los parámetros de calidad de aire, parámetros climatológicos y toda la base de datos de las enfermedades cardiorrespiratorias en la Región Metropolitana, tomando en consideración la baja participación científica y política en estas problemáticas ambientales. Sin duda realizar un estudio que relacione todos los contaminantes considerados en la normativa vigente, dará luces claras de la dinámica que se tiene en Santiago.

1.3. Hipótesis

Existe una correlación positiva entre los niveles de contaminación atmosférica y el número de a ocurrencia de ingresos hospitalarios a los centros de atención de urgencia debido a diversas patologías cardiorrespiratorias, en donde además existe un desfase temporal en la respuesta observada. Se presentan efectos diferenciados según los rangos etarios en donde la mayor influencia se observa en los grupos más sensibles.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar los parámetros de calidad atmosférica y meteorológicos que son directamente responsables de patologías cardiorrespiratorias en la población de la Región Metropolitana.

1.4.2. Objetivos Específicos

1. Evaluar diferentes indicadores de calidad de aire que permitan relacionar la contaminación atmosférica con los datos epidemiológicos.

2. Correlacionar los indicadores de calidad de aire con las admisiones hospitalarias por las patologías mencionadas distinguiendo 5 grupos etarios.
3. Determinar el tiempo de desfase entre la ocurrencia de episodios críticos de contaminación y el aumento en los ingresos hospitalarios.
4. Determinar el efecto de la temperatura y la humedad como variables confundentes que podrían afectar las admisiones hospitalarias.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Descripción del área de estudio

El área de estudio corresponde a la cuenca de la Región Metropolitana, ubicada en la depresión intermedia entre la Cordillera de la Costa y la Cordillera de los Andes con una superficie aproximada de 15.403 km² y con una población estimada por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) de 7.314.176 para el año 2015. La región está formada por las provincias de Chacabuco, Cordillera, Maipo, Melipilla, Santiago y Talagante, siendo la capital regional la ciudad de Santiago.

El anticiclón subtropical del Pacífico suroriental (SE) ejerce su influencia en esta región durante casi todo el año, provocando una persistente inversión térmica de subsidencia y un clima semiárido, en donde las precipitaciones mayormente se producen en los meses de invierno rodeando los 300 mm anuales (Morales, 2006).

Durante los meses de verano, el calentamiento superficial permite romper la inversión térmica teniéndose consigo una mayor ventilación en la cuenca de la región, lo que permite tener valores menores en la concentración de los contaminantes atmosféricos. Sin embargo, una alta emisión de NO_x sumado a la actividad fotoquímica en la troposfera genera una mayor concentración de ozono troposférico.

El excesivo crecimiento poblacional, pasando de haber cerca de 6 millones de habitantes al finalizar el siglo pasado a más de 7 millones de habitantes según las estimaciones para el 2015, sumado a la gran cantidad de vehículos motorizados y al número de industrias constituyen las principales fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos.

2.2. Diseño experimental

El presente estudio busca relacionar los niveles de concentración de los diversos contaminantes atmosféricos con el número de ingresos hospitalarios por urgencias debido a las enfermedades cardiorrespiratorias en todos los centros de salud de la Región Metropolitana durante los años 2009 y 2013. Para ello, la mejor alternativa

metodológica es realizar un estudio epidemiológico analítico en el cual se analicen dichas variables.

La investigación epidemiológica tiene como objetivos, por un lado, el describir los fenómenos de salud y establecer la distribución de enfermedades, y por otro, el plantear las leyes que dominan dichos fenómenos (Hernández-Avila et al., 2000). Una de las posibilidades que entrega la epidemiología es el de realizar un estudio epidemiológico analítico ecológico, en el cual se observa la población expuesta a los factores ambientales. Por tanto, la unidad de análisis es el conjunto completo de individuos de la Región Metropolitana, quienes están expuestos a diario a los contaminantes atmosféricos de la cuenca.

Los estudios epidemiológicos ecológicos utilizan una medida de frecuencia de la enfermedad en cada una de las comunidades estudiadas y se evalúan su relación con algún factor de interés, como la edad, la fecha de estudio, la utilización a determinados servicios de salud, el consumo de ciertos alimentos, o en este caso, a la exposición de contaminantes atmosféricos. La medida de asociación que se obtiene es el coeficiente de correlación y por ello a este tipo de estudios suele llamárseles estudios ecológicos.

La unidad de análisis de los estudios ecológicos correlacionales son generalmente las comunidades de los distintos países, regiones, comunas o localidades específicas.

La principal ventaja que presenta este tipo de diseños epidemiológicos es que la información proviene de fuentes secundarias disponibles previamente, lo que facilita y agiliza su ejecución en la realización de los diversos análisis. La principal desventaja que se tiene con este tipo de estudio es que no se puede establecer la relación temporal entre la exposición y los efectos a niveles individuales. Puede existir que se observe una relación a nivel poblacional que no necesariamente existe a nivel de individuos, lo que comúnmente se conoce como la falacia ecológica (Borja-Aburto, 2000). Una segunda limitación que presenta este tipo de diseño es la dificultosa capacidad de controlar en su totalidad los posibles sesgos de confusión, esto debido a que no siempre se tiene con totalidad la información de aquellos factores y, además, no se puede separar el efecto de las variables que se correlacionan muy estrechamente a nivel de individuos.

2.3. Descripción de la obtención de los datos de calidad de aire

Para este trabajo la calidad de aire es descrita a partir de todos los contaminantes atmosféricos que poseen una norma de calidad primaria, siendo en las partículas el Material Particulado Fino ($MP_{2,5}$) y el Material Particulado Grueso (MP_{10}), y siendo en los gases el Dióxido de azufre (SO_2), Dióxido de Nitrógeno (NO_2), Ozono (O_3) y Monóxido de Carbono (CO), a los que se le agregan los gases de Monóxido de Nitrógeno (NO) y los Óxidos de Nitrógeno (NO_x). Además, se utilizó información de las características meteorológicas como la temperatura y la humedad relativa.

En la Región Metropolitana, la concentración de los contaminantes es medida por la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire y variables Meteorológicas, denominada Red MACAM 2 – RM. Esta red cuenta con 11 estaciones de monitoreo, las que se ubican en las comunas de Cerrillos, Cerro Navia, El Bosque, Independencia, La Florida, Las Condes, Parque O'Higgins, Pudahuel, Puente Alto, Quilicura y Talagante. Toda la información de calidad de aire relacionada a los contaminantes atmosféricos y a las características meteorológicas se obtiene desde la página web del Sistema de Información de Calidad de Aire (SINCA), el cual cuenta con los registros horarios de cada contaminante y por cada estación de monitoreo.

La información se obtiene para cada estación monitora, en donde se entregan los valores de las concentraciones horarias para cada contaminante, por lo cual en un primer paso deben generarse variables que representen la condición atmosférica por día.

2.4. Validación de datos y estimación de índices de calidad de aire

La base de datos entregada por el SINCA puede contener errores de medición o de recolección, los que deben ser corregidos según criterios específicos. Para aquello primero debe seguirse las consideraciones establecidas en la normativa ambiental y en segundo caso, analizar los valores teóricos esperados para ciertos pares de contaminantes como el $MP_{2,5}$ y MP_{10} , así como los óxidos de nitrógeno.

Las mediciones de gases y partículas se realizan con monitores continuos, por lo cual entregan resoluciones de tiempo que pueden llegar a valores en cada minuto, los que posteriormente son promediados para obtener los valores horarios, diarios, semanales, mensuales y anuales. En general, la normativa de calidad ambiental de los contaminantes atmosféricos establece que se necesita un mínimo de un 75% de las

observaciones totales para efectuar el procesamiento de la información en cada una de las resoluciones de tiempo y de no ser así, se considerará como un valor inválido (CONAMA, 2006)

Con el objeto de demostrar y verificar el cumplimiento de la norma, es necesario tomar en cuenta los valores mínimos requeridos de concentración de los diversos contaminantes para poder validarlos

Tabla 1 Requisitos de validez para los valores de los contaminantes según su normativa

Valores	Requisitos de validez y/o número de datos mínimos.
Concentración de 1 hora	30 minutos de medición
Concentración de 8 horas	6 de los 8 datos de concentración de 1 hora
Concentración de 24 horas	18 de los 24 datos de concentración de 1 hora
Concentración máxima diaria	18 de los 24 datos de concentración de 1 hora
Concentración máxima diaria de 8 horas	18 de los 24 datos de concentración de 8 horas
Concentración máxima diaria de 24 horas	18 de los 24 datos de concentración de 24 horas
Percentil 99 de concentraciones máximas diarias de 1 hora	274 de los 365 datos de concentración máxima diaria de diarias de 1 hora 1 horas
Percentil 99 de concentraciones máximas diarias de 8 horas	274 de los 365 datos de concentración máxima diaria de diarias de 8 horas 8 horas.

Fuente: Manual de aplicación de las normas de calidad de aire para gases, CONAMA.

Por tanto, para validar la información de calidad de aire es necesario verificar que se cuenten con las mediciones mínimas de una hora para obtener los promedios de 8 o 24 horas según la norma.

Una vez validados los datos de calidad de aire se procede a generar los diversos indicadores que serán utilizados a posteriori. Como el análisis estadístico y epidemiológico está fundamentado en las correlaciones entre el número de ingresos hospitalarios diarios por urgencias y los niveles de contaminación, es necesario que los indicadores de calidad tengan una temporalidad diaria y no horaria como lo entrega el SINCA.

El procedimiento a seguir consiste primero en obtener 4 valores de cada uno de los contaminantes por estación y por día, los que corresponden al valor máximo del contaminante en el día, el promedio móvil de 24 horas al finalizar el día, el valor máximo del promedio móvil de 24 horas y la mediana del contaminante entre los valores horarios del día.

Posterior a ello, los datos calculados para cada estación monitora son recogidos en una nueva base de datos en donde finalmente se procesan junto a todos los valores diarios de cada estación. Como cada estación de monitoreo entrega 4 valores para cada contaminante, estos deben ser nuevamente procesados para generar los indicadores que se han de utilizar en el análisis posterior. Con los valores del máximo valor del contaminante por día se obtiene el valor máximo entre dichos máximos (*Max) y el valor promedio entre esos máximos diarios (*PMax). Con el valor del promedio móvil de 24 al finalizar el día se generan dos indicadores más, el primero resulta al promediar los valores de las medias móviles (*24hrs) y el segundo se obtiene al elegir el valor mayor entre los promedios móviles de 24 horas a la hora 23 del día (*24max). Con los valores máximos del promedio móvil de 24 horas por cada día, se puede obtener el mayor valor entre dichos máximos (*M24M) y a la vez se pueden promediar dichos máximos (*24maxP). Finalmente, con el valor de la mediana diaria de cada contaminante se procede a generar una mediana entre las medianas diarias para cada contaminante (*med). Este mismo procedimiento se utiliza para generar el valor utilizado en la temperatura y la humedad relativa.

Las variables obtenidas se resumen en la siguiente tabla, utilizando como ejemplo el Material Particulado 10 para mostrar su significado.

Tabla 2 Resumen de los indicadores diarios de calidad de aire obtenidos para cada contaminante, usando como ejemplo el MP₁₀.

Contaminante	Significado
MP10 Max	Valor máximo de la concentración horaria del contaminante durante el día en la RM. Corresponde al valor de una sola estación monitora.
MP10 PMax	Valor promedio de los máximos de concentración horaria entre las 11 estaciones monitoras
MP10 24hrs	Promedio entre las 11 estaciones de los valores del promedio de 24 horas que se han obtenido para cada estación a la hora 23 del día.
MP10 24max	Valor máximo entre las 11 estaciones de monitoreo para los valores del promedio de 24 horas a la hora 23 del día. Corresponde a un único valor de una sola estación monitora
MP1024maxP	Corresponde al valor promedio entre los máximos valores diarios del promedio móvil de 24 horas entre las 11 estaciones de monitoreo
MP10 M24M	Es el valor máximo entre las 11 estaciones de monitoreo para los máximos diarios del promedio móvil de 24 horas.
MP10 med	Es el valor de la mediana entre todos los valores del contaminante durante el día



2.5. Atenciones de urgencia por enfermedades cardiorrespiratorias

La información de los contaminantes atmosféricos es relacionada con los ingresos hospitalarios debido a las atenciones de urgencia causadas por todas las enfermedades cardiorrespiratorias, clasificadas según el sistema de Clasificación Internacional de Enfermedades, decima versión (CIE 10). Dicha información se obtiene desde la página web del Departamento de Estadísticas e Información de Salud (DEIS). Allí se debe seleccionar el tema de las Estadísticas de Atenciones de Urgencia, donde se puede elegir el rango temporal y la zona de estudio en la cual se desea trabajar, incorporando a su vez los distintos grupos etarios, los que en este caso corresponden a los niños menores de 1 año (G_1), los niños entre 1 y 4 años de edad (G_2), el grupo de los niños entre 5 y 14 años (G_3), las personas entre 15 y 64 años (G_4) y los adultos mayores correspondientes a las personas mayores de 65 años (G_5). A su vez, se analizó el grupo que contiene a toda la población sin diferenciación por rangos de edad (G_T).

Tabla 3 Clasificación internacional de enfermedades cardíacas y respiratorias con sus respectivas abreviaturas

CIE-10	Abreviatura	Enfermedad
J00 - J06	IRA	Infección Respiratoria Aguda Alta
J09 - J11	INFL	Influenza
J12 - J18	NEU	Neumonía
J20 - J21	BRON	Bronquitis/Bronquiolitis aguda
J40 - J46	COB	Crisis Obstructiva Bronquial
J22, J30-J39, J47, J60-J98	OCR	Otras causas respiratorias
I21	IAM	Infarto Agudo al Miocardio
I64	AVE	Accidente Vascular Encefálico
I10 - I15	CH	Crisis Hipertensiva
I49	ARR	Arritmia Grave
	OCC	Otras Causas Circulatorias

2.6. Análisis estadísticos

2.6.1. Análisis de series temporales

En numerosas ocasiones es necesario estudiar el comportamiento temporal de las variables.

En una serie temporal es una sucesión ordenada en el tiempo de valores de una variable (Saez et al., 1999). El estudio de las series temporales puede significar el análisis de una variable en función del tiempo, o más generalmente en un enfoque epidemiológico, el análisis en relación de dos o más variables en el tiempo.

En epidemiología y en este trabajo específicamente, se intenta construir un modelo explicativo de la evolución de una variable respuesta (enfermedades cardiorrespiratorias) con el objeto de poder cuantificar el efecto de los factores de riesgo de la exposición, en este caso, los contaminantes atmosféricos.

Una buena aproximación para abordar el análisis consiste en graficar las variables X e Y en función del tiempo y hacer un análisis visual del comportamiento de las variables y de este modo poder inferir la relación entre ambas variables.

2.6.2. Análisis de correlación

La correlación o el grado de relación entre dos variables determina el modo en el que una ecuación lineal, o de otro tipo, describe o explica la relación entre dichas variables. Si todos los valores de las variables satisfacen con exactitud una ecuación se dice que dichas variables están en una perfecta correlación. Por ejemplo, las circunferencias C y los radios r de todos los círculos están perfectamente relacionados, ya que se puede calcular C al multiplicar $2\pi r$ (Spiegel et al., 2009).

Cuando se analizan solo dos variables se habla entonces de correlación simple o regresión simple, en cambio cuando intervienen más de dos variables se habla de correlación múltiple o regresión múltiple. Para encontrar una solución cuantitativa al problema de la dispersión de los datos muestrales respecto a una línea o a una curva, es necesario encontrar una medida de la correlación entre dichas variables.

Al observar dos variables, lo inherente al pensamiento científico es buscar causalidad entre dichas variables, por lo cual podemos decir que una es efecto de la otra, lo que puede ser representado cuando la causa y el efecto son variables medibles mediante una relación funcional:

$$Y = f(x)$$

En este caso, Y corresponde al número de ingresos hospitalarios por urgencia debido a alguna de las patologías mientras que X corresponde al nivel de concentración del contaminante atmosférico.

Es importante modelar la respuesta cuando la relación funcional entre las variables es lineal, es decir, de la forma:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X$$

Ahora se puede definir la correlación entre las variables X e Y como la covarianza estandarizada para dichas variables:

$$\rho = \frac{COV[X, Y]}{\sqrt{V[X] \cdot V[Y]}}$$

Un buen estimador de ρ es el coeficiente de correlación de Pearson, el cual se define como:

$$r_{x,y} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

Tanto ρ como su estimador (r) varían entre -1 y 1. Si X e Y son independientes, tanto ρ como r serán igual a cero. Por lo tanto, si:

- i. r_{xy} tiende a 1 indica relación directa
- ii. r_{xy} tiende a -1 indica relación inversa
- iii. r_{xy} tiende a 0 indica que no existe relación lineal.

Como se busca determinar también el efecto de la temperatura y la humedad, es necesario que dichas variables sean utilizadas para obtener su propio coeficiente de correlación de Pearson con cada una de las enfermedades cardiorrespiratorias, el cual puede ser contrastado con los coeficientes obtenidos por las variables restantes.

2.6.3. Análisis de tiempo de desfase

Posterior a la obtención de los coeficientes de correlación de Pearson es necesario hacer un análisis asignando un desfase temporal a las variables respuestas en función de los contaminantes atmosféricos. El tiempo de desfase está asignado desde el primer día hasta el séptimo día, teniéndose un total de ocho "lags" en donde el valor

0 corresponde al efecto ocurrido el mismo día de la exposición y donde el valor 7 significa el efecto se presenta al séptimo día después de ocurrida la exposición a la contaminación.

A modo de ejemplo se entrega una tabla con los primeros siete días del periodo de análisis con sus respectivos desfases temporales

Tabla 4 Tiempo de desfase en las enfermedades respiratorias junto al material particulado entre el primero y el catorce de enero de 2009.

Fecha	MP ₁₀ *	TCSR ₀ **	TCSR ₁	TCSR ₂	TCSR ₃	TCSR ₄	TCSR ₅	TCSR ₆	TCSR ₇
01/01/2009	54.5	171	244	174	164	162	150	148	158
02/01/2009	49	244	174	164	162	150	148	158	154
03/01/2009	59.5	174	164	162	150	148	158	154	128
04/01/2009	52	164	162	150	148	158	154	128	121
05/01/2009	40	162	150	148	158	154	128	121	139
06/01/2009	30.5	150	148	158	154	128	121	139	128
07/01/2009	46.5	148	158	154	128	121	139	128	120
08/01/2009	50	158	154	128	121	139	128	120	151
09/01/2009	54	154	128	121	139	128	120	151	123
10/01/2009	55.5	128	121	139	128	120	151	123	128
11/01/2009	51.5	121	139	128	120	151	123	128	124
12/01/2009	48.5	139	128	120	151	123	128	124	152
13/01/2009	54.5	128	120	151	123	128	124	152	125
14/01/2009	43	120	151	123	128	124	152	125	138

* Valor medio diario del Material Particulado 10

** Total Causas Sistema Respiratorio

Para poder evaluar el efecto de dicho desfase temporal se realiza el análisis de correlación de Pearson, pero incluyendo ahora los desfases temporales. A partir del resultado obtenido se podrá determinar el tiempo de desfase necesario que existe entre los eventos de alta exposición a los contaminantes con los eventos de salud.

2.6.4. Modelo de Regresión de Poisson

Para un día cualquiera, el número de casos de atenciones por urgencias, Y_t , corresponde solo a una pequeña parte de la población. Aquello corresponde a que se clasifica como una variable discreta que solo toma valores enteros positivos y que presumiblemente cuyo rango no sea muy amplio (Schwartz et al., 1996). En este caso Y_t se generará por una distribución de Poisson con parámetro μ_t (el número diario

esperado de ingresos hospitalarios por urgencias en alguna de las patologías estudiadas).

La probabilidad de que en un día "t" exista un y_t número de ingresos hospitalarios puede expresarse:

$$Prob\left(\frac{y}{\lambda}\right) = \frac{e^{-\lambda}\lambda^y}{y!}$$

Siendo $E(Y_t) = \lambda_t$

La variable Y_t no es estacionaria en el tiempo, es decir que su mediana no permanece constante en todo el periodo del tiempo estudiado, observándose un incremento en los meses de invierno para las enfermedades respiratorias. Dicho comportamiento sigue un claro patrón estacionario con máximos en invierno y mínimos en verano. Debido a aquello podemos suponer que el número de ingresos hospitalarios debido a atenciones de urgencia por las enfermedades estudiadas depende de la concentración diaria de los contaminantes atmosféricos (" X_1 "), los que son mayores en los meses de otoño e invierno. Para analizar esta posible relación es necesario además analizar algunas variables confusoras como las características meteorológicas, principalmente la temperatura (" X_2 ") y la humedad relativa (" X_3 "). De este modo puede escribirse el siguiente modelo de regresión de Poisson:

$$\ln(E(Y)) = \beta_0 + \beta_1 X_{1t} + \beta_2 X_{2t} + \beta_3 X_{3t}$$

Siendo Y el número de ingresos hospitalarios en un dado día, $E(Y)$ es el valor esperado de Y en ese día, correspondiendo a λ en la ecuación anterior, β_i ($i=0, 1, 2, \dots$) son los coeficientes para los predictores utilizados en el modelo y t denotando el día $t = 1, 1827$; en donde 1 corresponde al 1 de enero de 2009 y 1826 al 31 de diciembre de 2013.

Si se analiza la expresión $\ln(\lambda_t) = \beta_1 X$ para los perfiles X_1 y X_1' de valores de concentración distintos para los tiempos t y t' se obtienen dos igualdades.

$$\ln \lambda_t = \beta_1 X_1$$

$$\ln \lambda_{t'} = \beta_1 X_1'$$

En donde

$$\ln \lambda_t - \ln \lambda'_t = \beta_1 X - \beta_1 X'$$

$$\ln \frac{\lambda_t}{\lambda'_t} = (X - X')\beta_1$$

$$\frac{\lambda_t}{\lambda'_t} = e^{(X-X')\beta_1}$$

Esta expresión se conoce como la razón de las tasas de incidencia (Incidence Risk Ratio, IRR) y representa el incremento de la tasa de incidencia por unidad de cambio de X.

Cuando se asume que la exposición está presente en toda la población estudiada, como ocurre en un estudio epidemiológico ecológico, el valor obtenido del IRR se puede interpretar como el riesgo relativo, (RR), en la población.

Finalmente puede obtenerse el riesgo atribuible mediante la siguiente expresión:

$$RA = (RR - 1)/RR$$

$$\%RA = \frac{(RR - 1)}{RR} * 100$$

Dicho parámetro entrega la proporción del riesgo que corresponde a la exposición propiamente tal.

III. RESULTADOS

3.1. Análisis descriptivo

El periodo de estudio entre el primero de enero del 2009 hasta el 31 de diciembre del 2013 posee un total de 1826 días de los cuales se obtuvieron 1807 datos diarios para la meteorología y en donde al menos se tienen 1.822 días con información de la calidad del aire. Por otra parte, se registraron un total 9.377.119 atenciones hospitalarias por urgencias debido a enfermedades respiratorias y 699.070 debido a enfermedades cardiacas para todas las edades.

La descripción del número de los ingresos hospitalarios se resume en la tabla 5. Se observa que la mayor cantidad de causas en todos los grupos se debe a las causas respiratorias, siendo recién significativo el número de ingresos debido a las causas cardiacas en los grupos 4 y 5, en donde el número de ingresos por causas cardiacas representa el 10,09% y el 33,74% para cada grupo respectivamente.

Tabla 5 Ingresos hospitalarios por urgencias debido a las patologías cardiorrespiratorias según grupo etario.

Grupo	Total Ingresos	Total causas sistema respiratorio (TCSR) (%)		Total causas sistema cardiaco (TCSC) (%)	
1	908.182	907.430	(99,92)	752	(0,08)
2	2.309.028	2.307.016	(99,91)	2.012	(0,09)
3	1.906.065	1.899.661	(99,66)	6.404	(0,34)
4	4.149.428	3.730.595	(89,91)	418.833	(10,09)
5	803.486	532.417	(66,26)	271.069	(33,74)
T	10.076.189	9.377.119	(93,06)	699.070	(6,94)

Fuente: DEIS Minsal, elaboración propia.

Realizando el análisis temporal entre las variables se observa que tanto las enfermedades respiratorias como los contaminantes tienen un comportamiento estacional en donde los máximos ocurren durante los meses de invierno, mientras que los mínimos ocurren en los meses de verano salvo para la temperatura y el ozono troposférico, en donde los máximos se producen en los meses de verano.

Los ingresos hospitalarios debido a las enfermedades cardiacas no siguen el mismo patrón. Se observa dicho patrón solo en el número de hospitalizaciones debido a

la crisis hipertensiva en los grupos 4 y 5. Dicho comportamiento se puede observar en la figura 1.

Durante los primeros meses de dicha serie temporal el número de ingresos debido a esta patología está muy por debajo del promedio y al parecer no existiría relación con los datos reales durante ese periodo.

Aquella anomalía observada puede afectar los análisis posteriores debido a que los datos no están dentro del rango esperado.

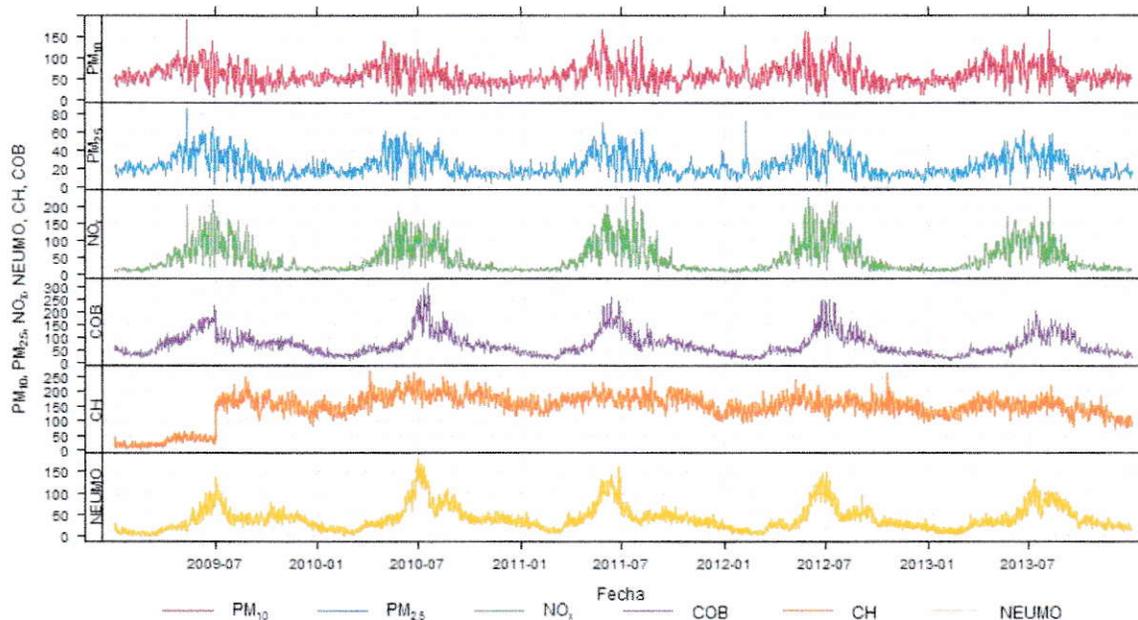


Figura 1 Serie temporal con PM10, PM2,5, NOx, Crisis Hipertensiva para el grupo de edad entre 15 y 65 años, Crisis Obstructiva Bronquial y Neumonía para el grupo de los menores de un año de edad

3.1.1. Análisis de calidad de aire y episodios críticos

Cada contaminante medido por la red MACAM permite generar un total de 7 indicadores de concentración diarios, lo que se traduce finalmente por el total de contaminantes en 56 indicadores de la calidad del aire durante el periodo estudiado. Dichos indicadores son correlacionados entre sí demostrándose que se establece colinealidad entre ellos, lo cual demuestra que cada indicador puede ser utilizado como un buen representante diario de cada contaminante para cada día.

Se observa una elevada correlación entre el MP_{10} y el $MP_{2,5}$ y entre los NO_x . Asimismo, se aprecia una correlación negativa entre el O_3 y el resto de los contaminantes, lo cual concuerda con los patrones observados dentro de la cuenca.

Tabla 6 Coeficientes de correlación de Pearson entre los diferentes contaminantes atmosféricos y las condiciones atmosféricas

	PM_{10}^*	$PM_{2,5}^*$	CO^*	NO^*	NO_2^*	NO_x^*	O_3^*	SO_2^*	T^*
PM_{10}	1								
$PM_{2,5}$	0.8818	1							
CO	0.686	0.8459	1						
NO	0.6718	0.7813	0.9287	1					
NO_2	0.7871	0.8251	0.8354	0.8178	1				
NO_x	0.7232	0.8179	0.9386	0.9851	0.8898	1			
O_3	-0.3728	-0.528	-0.6762	-0.657	-0.6911	-0.6907	1		
SO_2	0.511	0.5063	0.4968	0.4762	0.5229	0.5085	-0.2431	1	
T^{**}	-0.0954	-0.3579	-0.5441	-0.5401	-0.4848	-0.5463	0.6618	-0.0509	1
H^{***}	-0.1175	0.1557	0.2811	0.2647	0.1561	0.2473	-0.5132	-0.1616	-0.7278

*Valor medio diario

**Temperatura ($^{\circ}C$)

***Humedad relativa (%).

La tabla 7 muestra los niveles de contaminación atmosférica por todos los contaminantes analizados y resume las características meteorológicas

Tabla 7 Descripción de los contaminantes atmosféricos y variables meteorológicas durante el periodo de estudio.

Variable	Min.	p25	p50	p75	Máx.	Promedio	sd. **
PM_{10} ($\mu g/m^3$)*	8.03	47.26	60.09	80.29	187.80	65.09	26.48
$PM_{2,5}$ ($\mu g/m^3$)*	5.22	16.91	22.29	33.08	84.78	26.08	12.79
CO (ppm)*	0.17	0.35	0.58	1.05	2.99	0.78	0.54
NO (ppb)*	1.33	8.29	17.36	52.99	191.54	35.94	38.63
NO_2 (ppb)*	7.41	21.29	28.91	41.77	264.20	32.75	16.05
NO_x (ppb)*	6.02	22.20	36.64	81.74	247.93	57.60	47.81
O_3 (ppb)*	1.66	8.55	15.80	20.71	32.63	15.05	7.08
SO_2 (ppb)*	0.58	1.27	1.58	2.03	9.39	1.81	0.89
Temperatura ($^{\circ}C$)	1.77	10.40	14.77	19.49	27.12	14.84	5.40
Humedad relativa (%)	22.13	48.46	60.69	72.17	93.46	60.23	14.63

* Promedio diario del contaminante entre todas las estaciones de monitoreo

** Desviación estándar

El valor promedio de las concentraciones de MP_{10} y $MP_{2,5}$ fueron de 65,09 y 26,08 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) respectivamente. En cambio, la temperatura media fue de 14,8 °C y la humedad relativa del aire fue de 60,23%.

Se observa además que el rango en el cual fluctúan los diversos contaminantes es bastante elevado, siendo especialmente alto para todos los óxidos de nitrógeno.

Durante el periodo de estudio, la norma del promedio móvil de 24 horas para MP_{10} fue superada 240 veces.

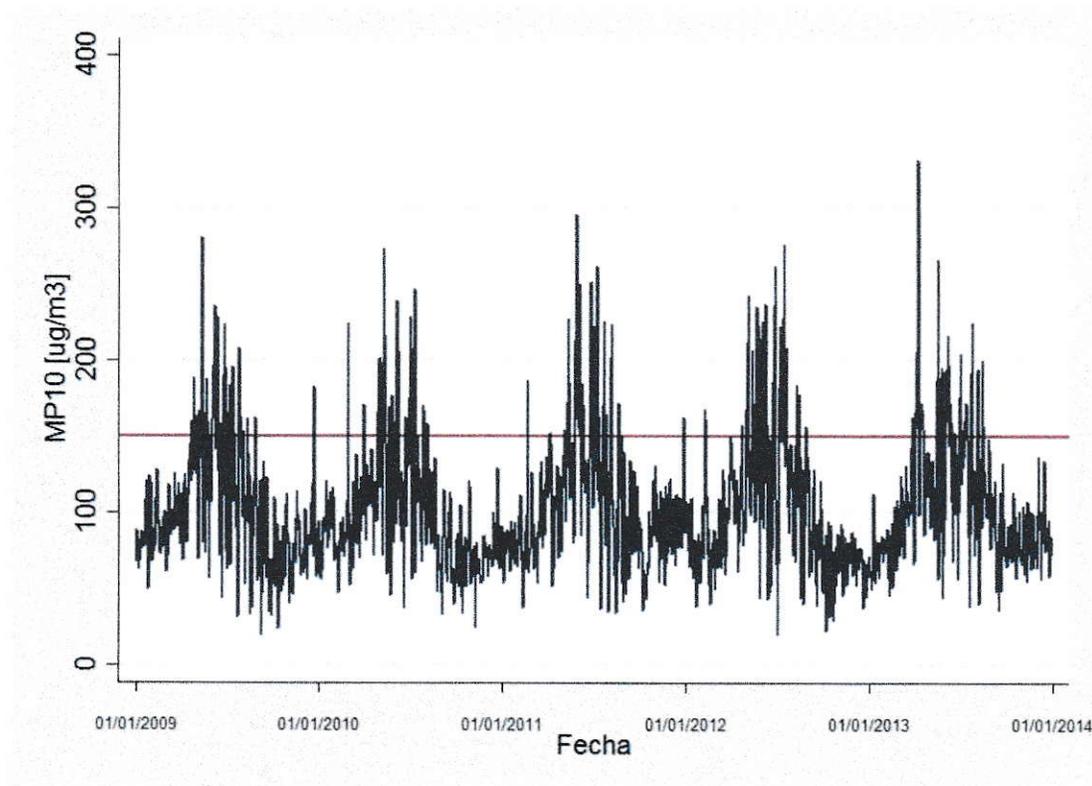


Figura 2 Serie temporal de los valores máximos diarios del promedio móvil de 24 horas para el MP_{10} .

Los elevados niveles de contaminación pueden generar efectos nocivos a la salud de las personas, considerando que el número de días en los que la norma fue superada es de 51 para el año 2009, 35 para el año 2010, 49 para el 2011, 48 para el 2012 y 57 para el 2013.

Debido al gran número de días por sobre la norma establecida se puede pensar que además de los efectos agudos observados puedan presentarse efectos crónicos en la salud de las personas.

Al analizar el mismo panorama frente a la norma establecida por la OMS, que fija el valor máximo del promedio móvil de 24 horas del PM_{10} en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se observa que el total de días en los cuales se supera dicho valor asciende hasta un total de 1756, lo que corresponde al 96% de los días en estudio.

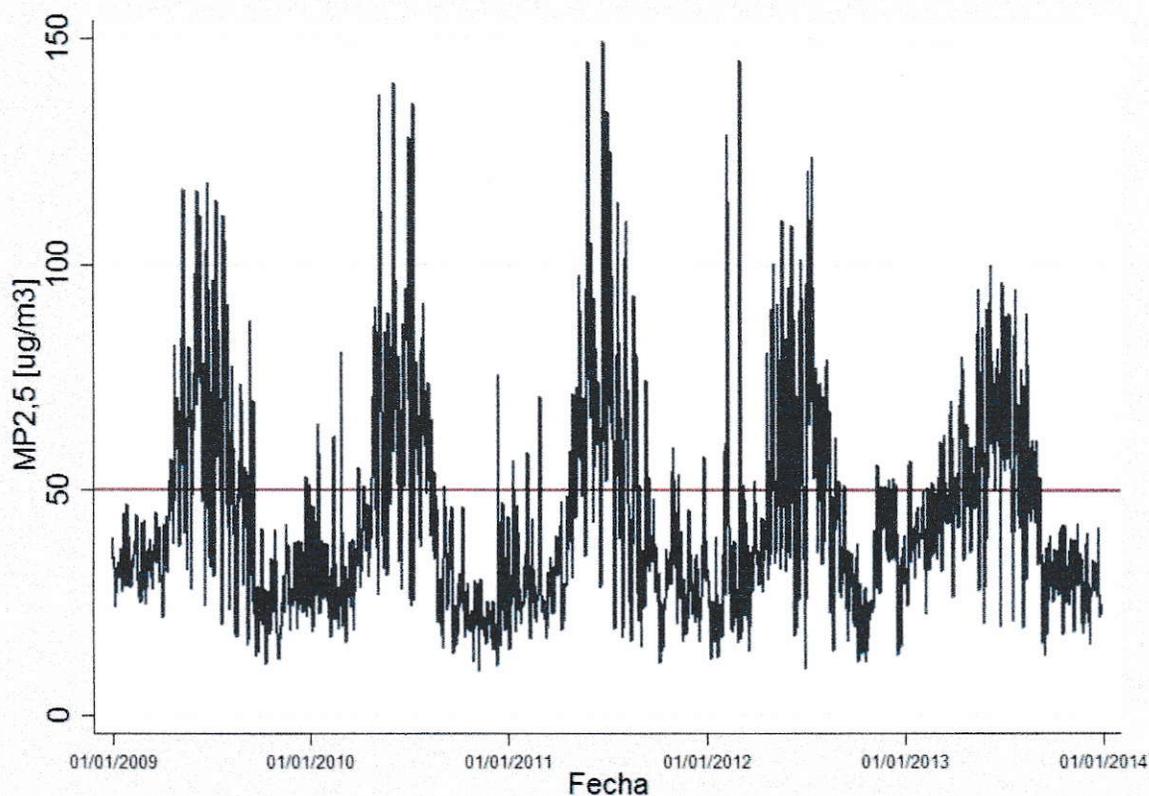


Figura 3 Serie temporal de los valores máximos diarios del promedio móvil de 24 horas para el $MP_{2,5}$.

La norma primaria de calidad de aire para $PM_{2,5}$ fue superada un total de 544 días durante la totalidad del tiempo en estudio, correspondiendo un total de 104, 101, 108, 101 y 130 días en los cuales se superó la norma para los años 2009, 2010, 2011, 2012 y 2013 respectivamente.

Del mismo modo anterior, si se contabiliza el número de días en los cuales se supera la norma establecida por la OMS, la cifra obtenida corresponde a 1495 días lo que representa un 82% del total de días en estudio.

Claramente dicho panorama significa no tan solo efectos agudos en la población, sino que también implica que se generen efectos crónicos en los individuos expuestos a dichos niveles atmosféricos de contaminantes.

En el caso de solo analizar la variabilidad de los contaminantes en los meses invernales se observa que el rango en los niveles de contaminación es bastante elevado, en donde la concentración puede aumentar varias veces en su valor en algunos casos.

Para tener una mejor visión del rango que pueden alcanzar los contaminantes atmosféricos es preferible graficarlos tomando en cuenta solo los meses de invierno, en donde se alcanzan los máximos niveles de contaminación. Este aumento en los índices de contaminación puede tener un riesgo asociado elevado, dependiendo de la patología analizada.

La siguiente figura muestra la variabilidad asociada al material particulado, a los óxidos de nitrógeno y el monóxido de carbono durante los meses de invierno en el periodo estudiado.

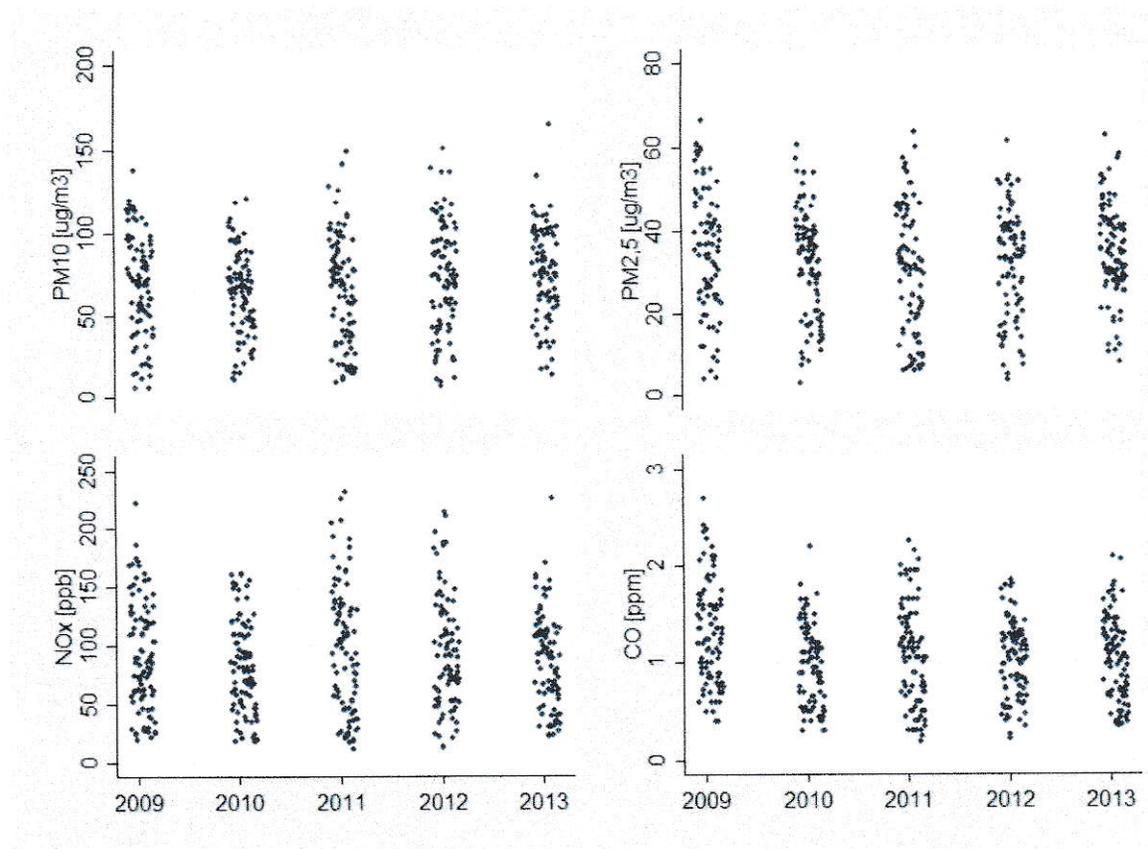


Figura 4 Dispersión del Material Particulado Fino, Material Particulado Grueso, Óxidos de Nitrógeno y Monóxido de Carbono durante los meses invernales en el periodo de estudio.

Se observa que el valor mínimo de concentración para material particulado es de $8,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras tanto que su máximo de concentración alcanzó los $78,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Lo mismo ocurre para los óxidos de nitrógeno, en donde durante los meses de invierno la oscilación supera los 200ppb, teniendo un mínimo de 21,7 ppb y un valor máximo de 284,2 ppb para el mismo contaminante.

3.1.2. Análisis de admisiones hospitalarias de urgencia

En relación a las admisiones por urgencias el mayor número de ingresos ocurrió en el grupo de personas con edades entre los 15 años y los 64 años. Aquello debido a la mayor población existente en dicho rango de edad respecto al resto de los grupos etarios.



Tabla 8 Ingresos por urgencias debido a enfermedades respiratorias según grupo etario.

Grupo	Total causas sist. respiratorio	IRA (%)	INFL (%)	NEU (%)	BRON (%)	COB (%)	OCR (%)
1	907.43	405.76 (44,7)	4.305 (0,5)	38.669 (4,3)	214.225 (23,6)	133.855 (14,8)	110.616 (12,2)
2	2.307.016	1.266.852 (54,9)	16.662 (0,7)	75.043 (3,3)	398.737 (17,3)	225.536 (9,8)	324.186 (14,1)
3	1.899.661	1.204.286 (63,4)	35.351 (1,9)	28.817 (1,5)	203.221 (10,7)	82.484 (4,3)	345.502 (18,2)
4	3.730.595	2.233.522 (59,9)	78.202 (2,1)	89.889 (2,4)	398.96 (10,7)	147.653 (4,0)	782.369 (21,0)
5	532.417	151.501 (28,5)	4.667 (0,9)	111.679 (21,0)	89.451 (16,8)	76.774 (14,4)	98.345 (18,5)
T	9.377.119	5.261.908 (56,1)	139.187 (1,5)	344.095 (3,7)	1.304.594 (13,9)	666.302 (7,1)	1.661.018 (17,7)

Fuente: DEIS Minsal, elaboración propia.

Dentro de las patologías respiratorias la Infección Respiratoria Aguda Alta es la enfermedad que más ingresos hospitalarios generó, seguida por la Bronquitis, Crisis Obstructiva Bronquial y Neumonía. Por este motivo dichas patologías son las que serán estudiadas a mayor cabalidad en los análisis posteriores.

Tabla 9 Ingresos por atenciones de urgencia debido a enfermedades cardíacas según grupo etario.

Grupo	Total causas sist. cardíaco	IAM (%)	AVE (%)	CH (%)	ARR (%)	OCC (%)
1	752	41 (5,5)	18 (2,4)	105 (14,0)	76 (10,1)	512 (68,1)
2	2.012	37 (1,8)	26 (1,3)	146 (7,3)	230 (11,4)	1.573 (78,2)
3	6.404	323 (5,0)	61 (1,0)	1.068 (16,7)	564 (8,8)	4.388 (68,5)
4	418.833	9.741 (2,3)	19.459 (4,6)	265.189 (63,3)	24.61 (5,9)	99.834 (23,8)
5	271.069	8.327 (3,1)	30.42 (11,2)	152.454 (56,2)	20.089 (7,4)	59.779 (22,1)
T	699.07	18.469 (2,6)	49.981 (7,1)	418.957 (59,9)	45.568 (6,5)	166.086 (23,8)

Fuente: Deis Minsal, elaboración propia

Para las patologías cardíacas, tanto en el grupo 4 y 5 la Crisis Hipertensiva cubre el mayor porcentaje del total de ingresos debido a las causas del sistema circulatorio. Las otras patologías más influyentes del total de ingresos son la Arritmia y el Accidente Vascular Encefálico.

Es importante mencionar que debido a la baja cantidad de casos en los grupos de los menos de 1 año de edad (G1), el grupo de los menores entre 1 y 5 años (G2) y el grupo de los niños entre 5 y 15 años (G3), será difícil establecer una mayor relación entre los ingresos y la contaminación atmosférica.

3.2. Análisis de correlación

El coeficiente de correlación de Pearson muestra que en general todos los grupos etarios se ven afectados mayormente por las patologías respiratorias. Se observa además que las edades tempranas son las más afectadas por la contaminación atmosférica. En los grupos 4 y 5 comienzan a tener mayor efecto los contaminantes sobre las enfermedades cardíacas.

Tabla 10 Coeficientes de correlación de Pearson entre los ingresos hospitalarios debido al total de patologías cardiorrespiratorias y los contaminantes atmosféricos según grupo etario.

	PM ₁₀ *	PM _{2,5} *	CO*	NO*	NO ₂ *	NO _x *	O ₃ *	SO ₂ *	T**	H**
G1 TCSR	0,1329	0,2617	0,4403	0,4063	0,3846	0,4190	-0,4039	0,0584	-0,5951	0,2928
G1 TCSC	-0,0438	-0,0347	-0,0111	-0,0089	-0,0462	-0,0145	0,0389	-0,0201	-0,0124	-0,0240
G2 TCSR	0,1542	0,2370	0,3651	0,3563	0,3944	0,3814	-0,3990	0,0043	-0,5589	0,3113
G2 TCSC	-0,0595	-0,0404	-0,0308	-0,0175	-0,0454	-0,0232	0,0420	-0,0282	-0,0238	0,0155
G3 TCSR	0,0603	0,1198	0,2489	0,2607	0,2934	0,2821	-0,3227	-0,0187	-0,4500	0,2732
G3 TCSC	0,0026	-0,0229	-0,0142	0,0062	0,0184	0,0081	-0,0053	-0,0636	-0,0581	0,0249
G4 TCSR	0,1145	0,1837	0,3431	0,3756	0,3740	0,3912	-0,3944	-0,0384	-0,5606	0,3303
G4 TCSC	-0,0076	0,0126	0,1220	0,1485	0,1597	0,1634	-0,1697	-0,0905	-0,3387	0,1985
G5 TCSR	0,0770	0,1607	0,3108	0,3232	0,3157	0,3381	-0,3138	-0,0635	-0,5311	0,2803
G5 TCSC	0,0002	-0,0151	0,0801	0,1218	0,1316	0,1360	-0,1193	-0,1002	-0,2929	0,1368

*Corresponden a los valores promedios entre los máximos valores diarios del promedio móvil de 24 horas entre las 11 estaciones de monitoreo

** Valor medio diario.

Para un mayor análisis es necesario separar el total de las causas respiratorias y cardíacas con el objeto de establecer un mejor coeficiente de correlación. Las tablas 11 y 12 muestran el coeficiente de correlación de Pearson entre las variables

atmosféricas y las patologías cardiorrespiratorias, entregando además su significancia estadística.

En general se observa que todos los grupos son afectados por la contaminación atmosférica aumentando el número de ingresos debido a las patologías de la Crisis Obstructiva Bronquial, la Bronquitis y la Neumonía. Es interesante nombrar el caso particular de los adultos mayores en donde la principal patología respiratoria que se ve exacerbada es la Neumonía.

En orden decreciente, los contaminantes que mejor correlacionan con el número de ingresos para dichas patologías son los Óxidos de Nitrógeno, el CO y el MP_{2,5}.

Tabla 11 Coeficientes de correlación de Pearson entre las enfermedades respiratorias y contaminantes atmosféricos para el grupo de los menores de un año de edad.

Patología	PM ₁₀ *	PM _{2,5} *	CO*	NO*	NO ₂ *	NO _x *	O ₃ *	SO ₂ *	T**	H**
TCSR	0,2638	0,3434	0,4203	0,4522	0,4210	0,4557	-0,4538	0,0209	-0,5951	0,2939
p value	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,3723	0,0000	0,0000
IRA	0,0756	0,0311	-0,0049	0,0723	0,1336	0,0893	-0,0598	-0,0934	-0,2036	0,0130
p value	0,0012	0,1841	0,8344	0,0020	0,0000	0,0001	0,0106	0,0001	0,0000	0,5818
INFL	0,0325	0,0748	0,1532	0,1534	0,1429	0,1547	-0,1878	-0,0202	-0,2216	0,1348
p value	0,1648	0,0014	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,3882	0,0000	0,0000
NEU	0,3036	0,4396	0,5684	0,5803	0,4790	0,5693	-0,5737	0,0778	-0,6443	0,3781
p value	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0009	0,0000	0,0000
BRON	0,2535	0,3648	0,4682	0,4924	0,4254	0,4892	-0,5256	0,0193	-0,6528	0,3705
p value	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,4089	0,0000	0,0000
COB	0,3745	0,5207	0,6430	0,6204	0,5307	0,6114	-0,6096	0,1176	-0,6661	0,3930
p value	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
OCR	0,1533	0,2049	0,2768	0,2449	0,2512	0,2517	-0,2097	0,1333	-0,3167	0,1132
p value	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

*Corresponden a los valores promedios entre los máximos valores diarios del promedio móvil de 24 horas entre las 11 estaciones de monitoreo.

** Valor medio diario.

En primera instancia las patologías cardíacas se ven poco afectadas a causa de los contaminantes atmosféricos. Debido a la anomalía observada en el número de ingresos por Crisis Hipertensiva es necesario corregir los coeficientes obtenidos. Para ello se limitan los datos a partir del 1 de julio de 2009 en adelante. La siguiente tabla muestran los coeficientes de correlación obtenidos.

Tabla 12 Coeficientes de correlación de Pearson entre las enfermedades cardiacas y los contaminantes atmosféricos para el grupo de las personas entre 15 y 64 años de edad (G4).

Patología	PM ₁₀ *	PM _{2,5} *	CO*	NO*	NO ₂ *	NO _x *	O ₃ *	SO ₂ *	T**	H**
TCSC	0,0464	0,0571	0,0662	0,1642	0,1894	0,1778	-0,2288	-0,1031	-0,3347	0,2076
p value	0,0476	0,0147	0,0046	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
IAM	0,0065	0,0444	0,0392	0,0254	0,0413	0,0299	-0,0551	-0,0335	-0,0791	0,0730
p value	0,7812	0,0578	0,0937	0,2778	0,0775	0,2013	0,0185	0,1520	0,0014	0,0032
AVE	-0,0116	-0,0145	-0,0133	0,0246	0,0608	0,0317	-0,0487	-0,0709	-0,0230	0,0062
p value	0,6191	0,5362	0,5690	0,2939	0,0094	0,1753	0,0374	0,0024	0,3538	0,8028
CH	0,0611	0,0843	0,1111	0,2004	0,2169	0,2128	-0,2640	-0,0647	-0,4061	0,2505
p value	0,0091	0,0003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0057	0,0000	0,0000
ARR	0,0205	-0,0063	-0,0517	0,0346	0,0433	0,0384	-0,0769	-0,1022	0,0156	0,0024
p value	0,3810	0,7870	0,0271	0,1398	0,0642	0,1011	0,0010	0,0000	0,5300	0,9230
OCC	0,0015	-0,0146	-0,0341	0,0392	0,0691	0,0507	-0,0762	-0,1290	-0,0004	-0,0027
p value	0,9489	0,5338	0,1455	0,0940	0,0031	0,0304	0,0011	0,0000	0,9856	0,9118

*Corresponden a los valores promedios entre los máximos valores diarios del promedio móvil de 24 horas entre las 11 estaciones de monitoreo

** Valor medio diario.

3.3. Análisis de desfase

El análisis de desfase temporal muestra que los mayores efectos se observan en el mismo día de exposición y el tercer, cuarto y séptimo día posterior al episodio de alta contaminación. En algunos casos la respuesta se ve mayormente correlacionada con la exposición cuando el tiempo de rezago es mayor a 4 días. Aquello se aprecia en el aumento de crisis obstructiva bronquial debido al aumento de NO en el grupo de los menores de un año.

De forma similar, pero con un rezago de 7 días se observa un aumento en el coeficiente de correlación para neumonía por NO_x en las personas entre 15 y 64 años de edad.

Aquello puede observarse en la siguiente figura.

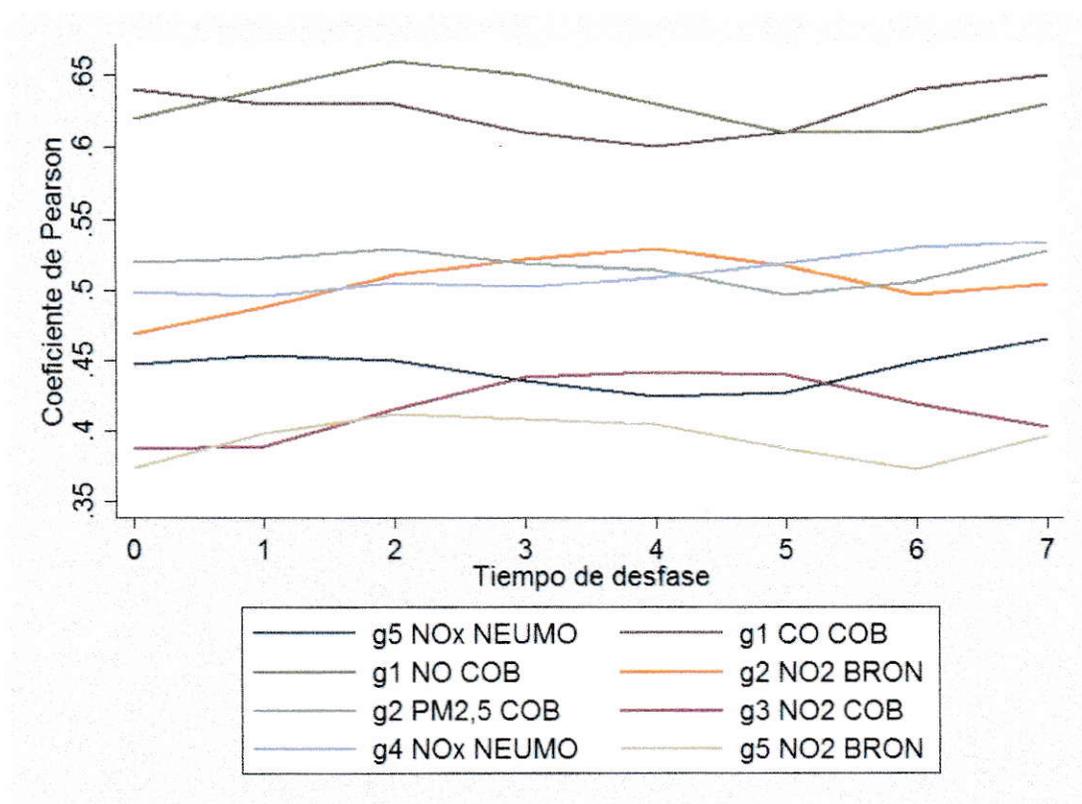


Figura 5 Evolución de los coeficientes de correlación según el tiempo de desfase.

3.4. Análisis de regresión de Poisson

La regresión de Poisson entre las enfermedades cardiorrespiratorias con los contaminantes atmosféricos arroja los valores de la razón de las tasas de incidencia, los que pueden ser comparados entre sí. Al mismo tiempo, dicho análisis se realiza siendo controlado por la temperatura y la humedad.

Las siguientes tablas muestran los resultados obtenidos aplicando el modelo de Poisson para las patologías respiratorias en el grupo de los menores de un año.

Tabla 13 Regresión de Poisson entre las patologías respiratorias y los valores medios diarios de las características atmosféricas para el grupo de los menores de un año.

		PM ₁₀ *	PM _{2.5} *	CO*	NO*	NO ₂ *	NO _x *	O ₃ *	SO ₂ *	T*	H*
IRA	RR	1,0031	0,9914	1,2908	0,9934	0,9984	1,0033	1,0011	0,9415	0,9728	0,9938
	p value	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0080	0,0000	0,0110	0,0000	0,0000	0,0000
	95%	1,0027	0,9905	1,2592	0,9926	0,9972	1,0025	1,0003	0,9326	0,9717	0,9934
	IC	1,0035	0,9922	1,3233	0,9942	0,9996	1,0042	1,0020	0,9505	0,9740	0,9941
INFL	RR	0,9970	0,9767	2,0284	0,9880	1,0048	1,0092	0,9967	0,9902	0,9519	0,9957
	p value	0,1160	0,0000	0,0000	0,0010	0,3790	0,0120	0,4610	0,8240	0,0000	0,0140
	95%	0,9932	0,9684	1,6315	0,9809	0,9941	1,0020	0,9880	0,9076	0,9416	0,9922
	IC	1,0008	0,9850	2,5219	0,9952	1,0157	1,0165	1,0055	1,0803	0,9622	0,9991
NEUMO	RR	0,9933	0,9957	1,5147	0,9973	1,0098	1,0046	1,0036	0,9248	0,9229	0,9939
	p value	0,0000	0,0010	0,0000	0,0130	0,0000	0,0000	0,0230	0,0000	0,0000	0,0000
	95%	0,9921	0,9931	1,4189	0,9952	1,0064	1,0025	1,0005	0,8999	0,9196	0,9927
	IC	0,9945	0,9984	1,6169	0,9994	1,0132	1,0068	1,0067	0,9505	0,9262	0,9950
BRON	RR	0,9978	0,9894	1,8869	0,9934	1,0001	1,0047	1,0002	0,9227	0,9261	0,9925
	p value	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,8910	0,0000	0,7780	0,0000	0,0000	0,0000
	95%	0,9973	0,9882	1,8318	0,9924	0,9986	1,0038	0,9989	0,9113	0,9247	0,9920
	IC	0,9984	0,9905	1,9436	0,9943	1,0016	1,0057	1,0015	0,9342	0,9275	0,9929
COB	RR	0,9965	0,9985	1,6735	0,9982	1,0088	0,9995	0,9964	0,9709	0,9378	0,9948
	p value	0,0000	0,0340	0,0000	0,0040	0,0000	0,4340	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	95%	0,9958	0,9971	1,6155	0,9971	1,0070	0,9984	0,9948	0,9568	0,9359	0,9942
	IC	0,9971	0,9999	1,7336	0,9994	1,0107	1,0007	0,9980	0,9852	0,9396	0,9955
OCR	RR	1,0035	0,9851	1,9616	0,9930	1,0023	1,0006	1,0027	0,9919	0,9649	0,9948
	p value	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0400	0,4510	0,0010	0,3470	0,0000	0,0000
	95%	1,0028	0,9835	1,8790	0,9915	1,0001	0,9991	1,0011	0,9753	0,9628	0,9941
	IC	1,0043	0,9867	2,0478	0,9945	1,0045	1,0020	1,0044	1,0088	0,9670	0,9955

*Corresponden al valor medio diario entre las 11 estaciones de monitoreo.

Tabla 14 Regresión de Poisson entre las patologías respiratorias y los promedios de los máximos promedios móviles de contaminantes para el grupo de los menores de un año.

		PM ₁₀ *	PM _{2,5} *	CO*	NO*	NO ₂ *	NO _x *	O ₃ *	SO ₂ *	T**	H**
IRA	RR	1,0003	0,9986	0,8900	0,9712	0,9779	1,0300	1,0090	0,9929	0,9695	0,9944
	p value	0,0930	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	95%	0,9999	0,9978	0,8732	0,9688	0,9754	1,0274	1,0080	0,9895	0,9683	0,9940
	IC	1,0007	0,9994	0,9070	0,9737	0,9804	1,0325	1,0099	0,9962	0,9706	0,9947
INFL	RR	0,9871	0,9882	1,5377	0,9896	1,0224	1,0117	1,0085	0,9355	0,9607	0,9952
	p value	0,0000	0,0020	0,0000	0,3800	0,0630	0,3230	0,0760	0,0000	0,0000	0,0050
	95%	0,9833	0,9806	1,2941	0,9667	0,9988	0,9887	0,9991	0,9028	0,9502	0,9919
	IC	0,9909	0,9958	1,8271	1,0130	1,0466	1,0352	1,0180	0,9693	0,9713	0,9986
NEUMO	RR	0,9882	1,0074	1,0987	1,0145	1,0191	0,9917	1,0053	0,9635	0,9260	0,9925
	p value	0,0000	0,0000	0,0010	0,0000	0,0000	0,0250	0,0010	0,0000	0,0000	0,0000
	95%	0,9869	1,0050	1,0409	1,0070	1,0115	0,9845	1,0021	0,9527	0,9226	0,9914
	IC	0,9895	1,0099	1,1597	1,0220	1,0267	0,9989	1,0085	0,9744	0,9294	0,9936
BRON	RR	0,9926	1,0018	1,2778	0,9742	0,9780	1,0287	1,0091	0,9979	0,9267	0,9930
	p value	0,0000	0,0010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,3710	0,0000	0,0000
	95%	0,9921	1,0007	1,2473	0,9710	0,9748	1,0254	1,0078	0,9932	0,9253	0,9925
	IC	0,9931	1,0028	1,3091	0,9775	0,9813	1,0321	1,0105	1,0025	0,9281	0,9934
COB	RR	0,9947	1,0058	1,2101	1,0173	1,0211	0,9843	0,9978	0,9750	0,9403	0,9940
	p value	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0100	0,0000	0,0000	0,0000
	95%	0,9940	1,0045	1,1757	1,0133	1,0170	0,9804	0,9961	0,9693	0,9384	0,9934
	IC	0,9954	1,0070	1,2455	1,0214	1,0252	0,9881	0,9995	0,9807	0,9421	0,9946
OCR	RR	0,9981	0,9990	1,0782	0,9817	0,9931	1,0176	1,0088	1,0056	0,9639	0,9947
	p value	0,0000	0,1900	0,0000	0,0000	0,0040	0,0000	0,0000	0,0660	0,0000	0,0000
	95%	0,9974	0,9976	1,0425	0,9772	0,9884	1,0130	1,0070	0,9996	0,9617	0,9940
	IC	0,9988	1,0005	1,1152	0,9863	0,9978	1,0223	1,0107	1,0116	0,9660	0,9953

*Corresponden a los valores promedios entre los máximos valores diarios del promedio móvil de 24 horas entre las 11 estaciones de monitoreo.

** Valor medio diario.

Con estas dos tablas se observa que el efecto agudo que generan los contaminantes dependerá del tiempo y de la intensidad de la exposición, en donde, por ejemplo, en un evento crítico con una alta concentración horaria o un alto valor medio de concentración puede tener efectos distintos a la salud si ese mismo evento se mantiene en el transcurso de las horas o bien es un evento específico con un solo peak de concentración.

En general, los valores del Riesgo Relativo obtenidos para ambos grupos siguen la misma tendencia observada en las correlaciones de Pearson, en donde las patologías

que presentan los mayores efectos agudos por los contaminantes son la crisis bronquial obstructiva, bronquitis y neumonía, siendo los óxidos de nitrógeno y el monóxido de carbono los contaminantes que poseen una mayor fuerza de asociación con las enfermedades descritas.

Un aumento de tan solo 1 ppb en la media móvil de NO_x tiene un riesgo relativo de 1,0033 en padecer Infección Respiratoria Aguda Alta para el grupo de los menores de un año, lo que implica que frente a un aumento de 10 ppb en dicho contaminante se tiene un 3,38% de riesgo mayor a padecer dicha patología, mientras tanto que al existir un aumento en 10 ppb en el promedio de los máximos promedios de 24 hora del mismo contaminante se produce un incremento de 34,4% frente a la misma patología.

Aquello se debe simplemente al hecho de que un evento persistente en el tiempo y que sea de impacto regional ocasionará efectos mayores porque la exposición total será mayor.

Ahora bien, existen otros efectos agudos que se producen en un menor tiempo de exposición, siendo un claro ejemplo de aquello lo que ocurre frente a la exposición de monóxido de carbono y la Crisis Bronquial Obstructiva. Se observa en este caso que para la media móvil de CO se tiene un riesgo relativo de 1,6735 en comparación con el riesgo de 1,2101 cuando se analiza el promedio regional de los máximos promedios de 24 horas, Aquello se traduce que, al aumentar en 0,1 ppm en ambos casos, se tendrá un riesgo de 5,28% y 1,93% respectivamente con cada tipo de exposición.

Cuando se analizan los demás grupos se observan casos similares, en donde por una parte una exposición a altas concentraciones, pero por un corto plazo tiene efectos agudos diferentes a cuando dicha exposición es duradera en el tiempo.

Para poder corroborar aquello se hace necesario nuevamente comparar los riesgos relativos de las enfermedades comparando los diferentes indicadores de calidad de aire obtenidos previamente.

Las siguientes tablas muestran los riesgos relativos para el grupo de los niños entre 5 y 14 años cumplidos de edad, en donde se utilizan los indicadores de la media diría y el promedio regional de los máximos promedios de 24 horas.

Tabla 15 Regresión de Poisson entre las patologías respiratorias y los valores medios diarios de las características atmosféricas para el grupo de los individuos entre 5 y 14 años de edad

		PM ₁₀ *	PM _{2,5} *	CO*	NO*	NO ₂ *	NO _x *	O ₃ *	SO ₂ *	T*	H*
IRA	RR	0,9999	0,9884	0,9588	0,9919	1,0124	1,0080	0,9991	0,9205	0,9665	0,9981
	p value	0,2110	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0010	0,0000	0,0000	0,0000
	95% IC	0,9996	0,9879	0,9449	0,9915	1,0117	1,0076	0,9986	0,9153	0,9659	0,9979
INFL	RR	1,0024	0,9445	2,9766	0,9796	0,9913	1,0222	0,9437	0,8306	0,9491	1,0126
	p value	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	95% IC	1,0011	0,9418	2,7849	0,9774	0,9879	1,0200	0,9403	0,8068	0,9455	1,0114
NEUMO	RR	0,9992	0,9847	1,1764	0,9933	1,0050	1,0084	1,0080	0,9207	0,9503	0,9963
	p value	0,2610	0,0000	0,0000	0,0000	0,0210	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	95% IC	0,9977	0,9815	1,0782	0,9905	1,0007	1,0056	1,0047	0,8897	0,9463	0,9950
BRON	RR	0,9993	0,9827	1,2899	0,9903	1,0115	1,0083	1,0017	0,9113	0,9382	0,9960
	p value	0,0140	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0080	0,0000	0,0000	0,0000
	95% IC	0,9988	0,9815	1,2475	0,9892	1,0099	1,0073	1,0005	0,8993	0,9367	0,9955
COB	RR	1,0026	0,9818	1,5960	0,9952	1,0140	1,0008	1,0012	0,9741	0,9494	0,9971
	p value	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,3220	0,2530	0,0080	0,0000	0,0000
	95% IC	1,0018	0,9800	1,5191	0,9936	1,0115	0,9992	0,9992	0,9552	0,9470	0,9963
OCR	RR	1,0012	0,9790	2,1157	0,9934	1,0125	1,0014	0,9966	1,0419	0,9678	1,0014
	p value	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	95% IC	1,0008	0,9781	2,0670	0,9926	1,0113	1,0006	0,9956	1,0323	0,9666	1,0010
	IC	1,0016	0,9799	2,1655	0,9942	1,0137	1,0022	0,9976	1,0517	0,9690	1,0017

*Corresponden al valor medio diario entre las 11 estaciones de monitoreo

Nuevamente se logra establecer que los contaminantes que generan mayores efectos agudos son los óxidos de nitrógeno y el monóxido de carbono. Así puede establecerse un riesgo relativo de 1,014 (IC95% 1,0115-1,0165) en padecer crisis obstructiva bronquial debido al NO₂, lo que puede traducirse en un riesgo de un 14,9% mayor en padecer dicha patología al existir un aumento de 10ppb en la concentración media respecto a dicho contaminante,

Tabla 16 Regresión de Poisson entre las patologías respiratorias y los promedios de los máximos promedios móviles de contaminantes para el grupo de los individuos entre 5 y 14 años de edad.

		PM ₁₀ *	PM _{2.5} *	CO*	NO*	NO ₂ *	NO _x *	O ₃ *	SO ₂ *	T*	H*
IRA	RR	0,9928	0,9961	0,8944	0,9642	0,9884	1,0400	1,0090	0,9741	0,9680	0,9974
	p value	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	95%	0,9926	0,9956	0,8843	0,9628	0,9870	1,0385	1,0085	0,9721	0,9674	0,9972
	IC	0,9930	0,9965	0,9046	0,9655	0,9899	1,0414	1,0096	0,9762	0,9687	0,9976
INFL	RR	0,9814	0,9621	2,1878	1,0195	1,0774	0,9881	0,9862	0,6892	0,9763	1,0087
	p value	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	95%	0,9801	0,9595	2,0727	1,0123	1,0698	0,9812	0,9829	0,6779	0,9726	1,0074
	IC	0,9827	0,9647	2,3094	1,0268	1,0850	0,9951	0,9895	0,7007	0,9801	1,0099
NEUMO	RR	0,9901	0,9985	0,8525	0,9986	1,0102	1,0081	1,0158	0,9732	0,9528	0,9959
	p value	0,0000	0,3280	0,0000	0,7600	0,0300	0,0750	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	95%	0,9886	0,9956	0,7962	0,9896	1,0010	0,9992	1,0122	0,9608	0,9488	0,9946
	IC	0,9915	1,0015	0,9128	1,0077	1,0195	1,0172	1,0194	0,9858	0,9569	0,9972
BRON	RR	0,9914	0,9918	1,1124	0,9665	0,9925	1,0368	1,0155	0,9755	0,9390	0,9964
	p value	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	95%	0,9909	0,9907	1,0834	0,9632	0,9891	1,0333	1,0141	0,9706	0,9376	0,9959
	IC	0,9920	0,9929	1,1421	0,9698	0,9960	1,0402	1,0169	0,9804	0,9405	0,9969
COB	RR	0,9965	0,9929	1,1260	1,0012	1,0207	0,9993	1,0092	0,9758	0,9504	0,9962
	p value	0,0000	0,0000	0,0000	0,6580	0,0000	0,7970	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	95%	0,9957	0,9912	1,0828	0,9959	1,0153	0,9942	1,0071	0,9686	0,9480	0,9955
	IC	0,9974	0,9946	1,1710	1,0065	1,0261	1,0045	1,0113	0,9831	0,9528	0,9970
OCR	RR	0,9921	0,9941	1,2819	1,0141	1,0400	0,9865	0,9992	0,9644	0,9759	0,9987
	p value	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1510	0,0000	0,0000	0,0000
	95%	0,9917	0,9932	1,2582	1,0115	1,0373	0,9841	0,9982	0,9609	0,9747	0,9983
	IC	0,9926	0,9949	1,3061	1,0166	1,0426	0,9890	1,0003	0,9680	0,9771	0,9991

*Corresponden a los valores promedios entre los máximos valores diarios del promedio móvil de 24 horas entre las 11 estaciones de monitoreo

** Valor medio diario.

Respecto a la misma patología anterior se observa un riesgo relativo de 1,0207 (IC95% 1,0153-1,0261) cuando el aumento corresponde al promedio de los máximos de la media móvil de 24 horas, implicando que frente al aumento en 10 ppb en dicho parámetro el riesgo aumenta un 22,7%.

A la hora de evaluar el efecto de los contaminantes atmosféricos sobre las patologías cardiacas se debe efectuar el mismo proceso. Ahora bien, los primeros grupos etarios no presentan un número significativo de atenciones de urgencias por



dicho tipo de patologías, por lo cual estadísticamente cualquier resultado obtenido no presenta validez ($p\text{-value} > 0,05$). Las siguientes tablas muestran los resultados obtenidos en el grupo de individuos mayores a 15 años y menores de 65.

Tabla 17 Regresión de Poisson entre las patologías cardíacas y los valores medios diarios de las características atmosféricas para el grupo de los individuos entre 15 y 64 años de edad

		PM ₁₀ *	PM _{2,5} *	CO*	NO*	NO ₂ *	NO _x *	O ₃ *	SO ₂ *	T*	H*
IAM	RR	0,9975	1,0025	1,1401	0,9977	1,0081	0,9995	1,0040	0,9840	0,9928	1,0008
	p value	0,0490	0,3750	0,1010	0,3960	0,0390	0,8500	0,1660	0,5980	0,0550	0,4910
	95% IC	0,9950	0,9970	0,9746	0,9924	1,0004	0,9943	0,9984	0,9269	0,9854	0,9985
AVE	RR	0,9986	0,9988	0,9573	1,0006	1,0080	1,0000	1,0013	0,9782	1,0004	0,9998
	p value	0,1180	0,5620	0,4540	0,7730	0,0040	0,9940	0,5120	0,3140	0,8930	0,7790
	95% IC	0,9968	0,9948	0,8540	0,9968	1,0026	0,9963	0,9974	0,9372	0,9951	0,9981
CH	RR	1,0008	0,9899	1,0737	0,9930	1,0007	1,0071	1,0042	0,9575	0,9742	0,9987
	p value	0,0010	0,0000	0,0000	0,0000	0,3750	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	95% IC	1,0004	0,9888	1,0416	0,9920	0,9992	1,0061	1,0031	0,9465	0,9728	0,9983
ARR	RR	1,0007	0,9994	0,7882	0,9987	0,9973	1,0038	0,9931	0,9448	1,0009	0,9999
	p value	0,3810	0,7500	0,0000	0,4430	0,2760	0,0280	0,0000	0,0040	0,7160	0,8980
	95% IC	0,9991	0,9959	0,7100	0,9953	0,9925	1,0004	0,9896	0,9086	0,9962	0,9984
OCC	RR	1,0023	1,0030	0,8749	1,0020	1,0022	1,0071	0,9966	0,9825	1,0056	1,0014
	p value	0,4360	0,0000	0,0000	0,0000	0,0630	0,0000	0,0000	0,6450	0,0000	0,8340
	95% IC	0,9989	0,9920	1,2163	0,9909	0,9954	1,0045	1,0031	0,9763	0,9932	0,9992
OCC	IC	1,0005	0,9956	1,3457	0,9942	1,0001	1,0078	1,0065	1,0150	0,9978	1,0006

* Corresponden al valor medio diario entre las 11 estaciones de monitoreo.

Al igual que en el caso de las enfermedades respiratorias, se observan valores del riesgo relativo con significancia estadística en los óxidos de nitrógeno y en el monóxido de carbono principalmente, presentándose los mayores efectos agudos en el Infarto Agudo al Miocardio con un riesgo relativo de 1,0081 (IC95%1,004-1,0158) por el aumento en un 1 ppb de la media diaria de NO₂, implicando en un aumento de 8,38% del riesgo al aumentar la concentración media en 10 ppb.

Un caso similar ocurre con la Crisis Hipertensiva en la cual se aprecia un riesgo relativo de 1,0737 (IC95% 1,0416-1,1067) y 1,0071 (IC95% 1,0061-1,0081) por el

aumento en 1 ppm y 10 ppb en la media de CO y de NO_x, lo que finalmente se traduce en un aumento en el riesgo de 7,37% por cada 1 ppm que aumente la concentración media de CO y de 7,32% por el aumento en 10 ppb de la concentración media de NO_x.

Tabla 18 Regresión de Poisson entre las patologías cardiacas y los promedios de los máximos promedios móviles de contaminantes para el grupo de los individuos entre 15 y 65 años de edad

		PM ₁₀ *	PM _{2,5} *	CO*	NO*	NO ₂ *	NO _x *	O ₃ *	SO ₂ *	T**	H**
IAM	RR	0,9971	1,0054	1,0759	0,9811	0,9883	1,0173	1,0050	0,9973	0,9892	1,0006
	p value	0,0240	0,0280	0,2170	0,0200	0,1600	0,0340	0,1050	0,7990	0,0050	0,6160
	95%	0,9947	1,0006	0,9578	0,9653	0,9723	1,0013	0,9989	0,9767	0,9818	0,9983
AVE	RR	0,9956	1,0006	1,0392	0,9925	1,0050	1,0074	1,0025	1,0025	1,0021	0,9995
	p value	0,0000	0,7240	0,3750	0,1990	0,3990	0,2010	0,2550	0,7450	0,4450	0,5350
	95%	0,9938	0,9971	0,9546	0,9811	0,9934	0,9961	0,9982	0,9877	0,9967	0,9979
CH	RR	0,9961	1,0006	0,8089	0,9655	0,9736	1,0387	1,0078	0,9999	0,9723	0,9981
	p value	0,0000	0,2170	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,9590	0,0000	0,0000
	95%	0,9956	0,9996	0,7903	0,9626	0,9705	1,0356	1,0066	0,9958	0,9710	0,9976
ARR	RR	0,9990	1,0037	0,7563	0,9891	0,9864	1,0140	0,9939	0,9986	1,0020	0,9994
	p value	0,1900	0,0170	0,0000	0,0390	0,0100	0,0070	0,0020	0,8410	0,4210	0,4210
	95%	0,9974	1,0007	0,6998	0,9790	0,9762	1,0038	0,9901	0,9853	0,9972	0,9980
OCC	RR	0,9962	1,0011	1,0014	0,9716	0,9773	1,0304	1,0057	1,0121	0,9954	0,9994
	p value	0,0000	0,1840	0,9420	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0820
	95%	0,9954	0,9995	0,9635	0,9666	0,9722	1,0252	1,0037	1,0055	0,9930	0,9987
	IC	0,9969	1,0026	1,0408	0,9765	0,9823	1,0356	1,0076	1,0189	0,9977	1,0001

*Corresponden a los valores promedios entre los máximos valores diarios del promedio móvil de 24 horas entre las 11 estaciones de monitoreo

** Valor medio diario.

Al igual que en las enfermedades respiratorias, se observa que el efecto agudo que se presenta sobre las enfermedades cardiacas depende de la intensidad de la exposición, lo cual se ve reflejado en la tabla anterior.

Un ejemplo de aquello se observa en la enfermedad del Infarto Agudo al Miocardio, donde al existir un aumento de 10 µg/m³ en el valor del promedio regional de los máximos promedios móviles de PM_{2,5} se obtiene un incremento en 5,52% en el

riesgo de dicha patología. Incluso, debido al aumento en 10 ppb para NO_x el riesgo en la misma patología se eleva un 18,7%.

Aquel aumento significativo se debe principalmente a las características del material particulado fino y a que un aumento prolongado en el tiempo genera efectos mayores en la salud.

IV. DISCUSIÓN

El presente estudio planteó como hipótesis que el número de ingresos hospitalarios debido a urgencias por causas cardiorrespiratorias está relacionado con el nivel de contaminación atmosférico. El diseño experimental contempló un estudio epidemiológico ecológico correlacional en donde la población que se utilizó fue la población de la Región Metropolitana durante los años 2009 y 2013..

Para ello primero se describieron las admisiones por urgencias y los contaminantes atmosféricos en el periodo correspondiente, Los contaminantes atmosféricos presentaron un comportamiento estacional como es de esperarse para la cuenca, con concentraciones máximas en los meses fríos, salvo para el ozono que presenta sus máximos en los meses cálidos. En el caso de los ingresos por urgencias, dicha estacionalidad queda en clara evidencia para las enfermedades respiratorias, en contraste, no se logra evidenciar en una primera instancia para las enfermedades cardíacas. Respecto de las enfermedades respiratorias el efecto es fácilmente evidenciable debido a la etiología de las enfermedades, puesto que los contaminantes para ingresar al organismo deben pasar por las vías respiratorias.

4.1. Evaluación de los indicadores de calidad de aire

Los indicadores entregados siguen el patrón esperado según lo reportado previamente, en donde los máximos se producen durante los meses fríos salvo para el caso del ozono troposférico en donde los máximos se producen en los meses cálidos. Aquello concuerda con lo extensamente reportado para la Región Metropolitana (Romero et al., 1999; Toro A. et al., 2014).

Dentro de los indicadores obtenidos los que poseen una mayor representatividad de la cuenca de la Región Metropolitana son los correspondientes al promedio de los promedios móviles de 24 horas denotado como *24hrs; el valor medio diario del contaminante denotado como *med y el valor promedio de los máximos diarios del promedio móvil siendo este último denotado por *24MaxP. El resto de los índices obtenidos pueden ser influenciados por eventos particulares que pueden afectar en gran medida el indicador de calidad de aire sin tener algún grado de representatividad real.

A pesar de aquello último, en general los indicadores obtenidos tienen entre sí un alto coeficiente de correlación de Pearson, con un valor de p por sobre de 0,8 en la mayoría de las veces, demostrando que existe representatividad entre ellos. Los menores coeficientes de correlación se encuentran para aquellos indicadores que se construyeron a partir de los valores máximos diarios de concentración.

Respecto a la calidad del aire se observa la típica estacionalidad descrita en donde, salvo por el ozono troposférico, los máximos se producen durante los meses fríos de invierno y los mínimos se obtienen durante los meses cálidos de verano. El tiempo de estudio presentó un total de 240 días en donde la norma de MP_{10} fue superada, mientras tanto para el $MP_{2,5}$ fue superada un total de 544 veces.

4.2. Ingresos hospitalarios por urgencias

Durante el periodo de estudio se produjeron un total de 10,076,189 ingresos hospitalarios debido a causas cardiorrespiratorias, en donde el 93% de dichos ingresos corresponde a causas respiratorias, mientras el solo 7% restante se debe a enfermedades cardíacas.

Al analizar las series temporales del número de ingresos por urgencias queda en clara evidencia que las patologías respiratorias siguen el mismo patrón estacional que se tiene con los contaminantes atmosféricos. En cambio, en las patologías cardíacas dicho patrón no se cumple y solo puede observarse en los grupos de edades entre los 15 y 64 años y los mayores de 65 años específicamente para la Crisis Hipertensiva. Además, existe una anomalía dentro de la base de datos entregada por el DEIS en donde se observa que durante los primeros 6 meses del estudio el número de ingresos debido a dicha patología se encuentra por debajo del valor promedio o esperado para los meses posteriores. Esto puede deberse a la dificultad de poder recolectar la información estadística en su totalidad para la Región Metropolitana, sumado a que el sistema de recolección de datos había sido actualizado recientemente para aquella fecha.

Además de errores posibles en el registro de las enfermedades del DEIS, otra explicación posible del patrón disímil entre las patologías respiratorias y cardíacas es que en las patologías cardiovasculares está participando otro contaminante, el ruido, elemento físico que se mide en forma regular por lo que no se incorporó al análisis.

Debido al gran número de ingresos hospitalarios debido a causas respiratorias los resultados obtenidos tendrán un mayor grado de significancia en comparación a los resultados obtenidos por las patologías cardíacas. Esto se debe a que, al existir un mayor número de casos, evidenciar el efecto de los contaminantes se hace mucho más evidenciables y no caen dentro del margen de error o la variabilidad normal de la variable respuesta.

4.3. Análisis de correlación entre los contaminantes atmosféricos y las admisiones hospitalarias

Los resultados obtenidos para los valores del coeficiente de correlación de Pearson dependen de la enfermedad y del indicador de calidad de aire analizados, encontrándose siempre mejores correlaciones para aquellos indicadores que son representativos para la Región Metropolitana, siendo los valores medios diarios, el promedio de 24 horas y el valor promedio de los máximos del promedio móvil de 24 horas, los que arrojan los mayores coeficientes de correlación. Con ello se confirma que una mejor representatividad de los contaminantes implica una mejor explicación del modelo.

Los valores más altos corresponden siempre para las enfermedades respiratorias, siendo la Crisis Obstructiva Bronquial, Bronquitis y Neumonía las patologías mayormente exacerbadas por la exposición a la contaminación, especialmente con los óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono y el material particulado fino. Aquello es concordante con lo encontrado en estudios previos, en donde se afirma que la mezcla de contaminantes atmosféricos, especialmente las partículas finas, repercuten en el número de admisiones hospitalarias de urgencia debido a las enfermedades respiratorias en los niños y ancianos (Ilabaca et al., 1999; Ostro et al., 1999).

En el caso de las enfermedades cardíacas existen problemas estadísticos para comprobar la relación causal entre las enfermedades y la exposición. En los grupos de menores edades dicha dificultad radica en el bajo número de ingresos hospitalarios debido a dichas causas, lo que provoca que la posible asociación causal encontrada se deba entre otros factores a la misma variabilidad temporal de las patologías analizadas.

Cabe destacar que a pesar de existir un bajo índice de correlación entre las variables no puede ni debe descartarse una asociación causal entre las patologías y los contaminantes puesto que un segundo indicador importante asociado es el grado de significación estadística, en donde si existe una elevada significancia entre las variables con un *p-value* menor a 0,05 puede implicar una causalidad con menor fuerza. Esto se debe a que en poblaciones mayores un menor grado de correlación solo implica que del total de ingresos hospitalarios solo un menor porcentaje podrá ser explicado por los contaminantes utilizados. Para observar dicho panorama se debe analizar en mayor profundidad el riesgo asociado a dichas patologías debido a la exposición de los contaminantes atmosféricos.

4.4. Evaluación de los tiempos de desfase

Según los coeficientes de correlación de Pearson, los tiempos de desfase tienen una importancia especial debido a que la mayor respuesta en las patologías se presenta recién al tercer o cuarto día después de presentarse una alta exposición de los contaminantes. Dependiendo del contaminante analizado, esta respuesta puede variar desde presentarse una respuesta en el mismo día de la exposición, como ocurre con el monóxido de carbono, hasta existir una respuesta recién al séptimo día después de la exposición.

Una de las dificultades de analizar el número de ingresos hospitalarios es que existe cierta inercia de parte de las personas ya que evitan ser hospitalizadas o evitan las consultas médicas.

Otro problema que existe al analizar el tiempo de desfase es que las personas no tienen respuestas biológicas idénticas entre sí, por lo cual los tiempos de respuesta no tienen por qué ser los mismos para todos, dificultando el realizar un análisis del tiempo de desfase.

Una complicación mayor ocurre respecto a las decisiones que pueden tomar las personas al momento de enfermarse, debido a que algunas prefieren esperar lo máximo posible antes de atenderse en el médico, otras en cambio prefieren esperar a los fines de semana para atenderse y no perder días de trabajo.

Dicha variabilidad es desconocida y no se puede controlar, por lo cual se puede asumir que, debido al gran número de habitantes que entran en el estudio, dicha

variabilidad se considera constante haciendo que el efecto acumulado de aquella variabilidad se considere nula.

4.5. Análisis de la regresión de Poisson

Como los coeficientes de correlación de Pearson mostraron que las mejores correlaciones estaban con los promedios de los máximos promedios móviles, el análisis de regresión de Poisson se realizó con dichos indicadores, siendo controlado por el tiempo, temperatura y humedad relativa.

El análisis de regresión de Poisson muestra un claro efecto sobre las enfermedades cardiorrespiratorias, en donde los mayores riesgos asociados existen a causa del monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y el material particulado fino.

En el caso de la exposición por óxidos de nitrógeno el efecto que se puede generar es altamente nocivo debido a que durante un corto periodo de tiempo las concentraciones de dicho contaminante pueden subir drásticamente. A su vez, los altos índices de contaminación por material particulado fino y grueso durante todo el tiempo de estudio puede generar que los individuos sean mayormente susceptibles a padecer patologías cardiorrespiratorias, teniéndose efectos crónicos sobre la salud de las personas y a la vez aumentando el efecto agudo que se tiene.

Es importante señalar que a pesar de que los valores de IRR obtenidos para los contaminantes sean pequeños, una alta concentración de dichos contaminantes hace aumentar significativamente el riesgo en padecer las patologías observadas. Esto se debe a que el modelo de regresión de Poisson entrega valores del riesgo asociados al aumento en una unidad de medida de cada variable añadida a dicho modelo, por tanto, si se piensa que el aumento puede superar varias veces dicha unidad el riesgo acumulado es mayor.

Por ejemplo, se observa que en los meses de invierno la concentración diaria de los contaminantes atmosféricos puede subir drásticamente entre un día y otro, generando que los riesgos atribuibles a dichos contaminantes se eleven drásticamente. La siguiente tabla muestra el aumento que se tuvo de los contaminantes $MP_{2,5}$, CO y NO_x durante la semana del 20 de junio del 2011 al 26 de junio del mismo año.

Tabla 19 Aumento típico de los niveles de contaminantes atmosféricos durante una semana en los meses de invierno.

Fecha	PM _{2.5} *	CO*	NO _x *	NO ₂ *
19-Jun-11	25,40	1,02	78,67	22,080
20-Jun-11	19,29	1,01	72,01	22,254
21-Jun-11	21,58	1,01	78,59	25,279
22-Jun-11	37,48	1,68	149,26	30,512
23-Jun-11	42,47	1,77	164,58	35,641
24-Jun-11	48,09	1,69	156,37	37,511
25-Jun-11	65,26	2,24	169,94	40,023
26-Jun-11	77,98	2,98	201,78	44,187
27-Jun-11	71,94	3,06	201,71	41,914

*Corresponden a los valores promedios entre los máximos valores diarios del promedio móvil de 24 horas entre las 11 estaciones de monitoreo

En el caso de la neumonía para el grupo de los individuos entre 5 y 15 años, se observa un RR de 1,0102 debido al aumento en 1 ppb de NO₂ en su promedio de los máximos promedios móviles. Durante la semana analizada, el aumento en los niveles de concentración alcanzó hasta los 21,93ppb, lo que genera un riesgo atribuible de 24,92% en dicho aumento de concentración. Del mismo modo se observa en el mismo grupo de individuos un RR de 1,040 para la Infección Respiratoria Alta por la concentración de NO_x. En el transcurso de dicha semana, el aumento sobrepasó los 129ppb en la media diaria, originando un aumento sustancial y significativo del riesgo.

Finalmente se observa que en el modelo de regresión algunas variables debiesen ser eliminadas puesto que no son estadísticamente significativas ($p\text{-value}>0,05$). Un arreglo posible al momento de solucionar dicho problema es hacer un análisis en el cual paso a paso se eliminan dichas variables, por lo cual el modelo ajustado puede explicar de mejor modo la variabilidad observada en el número de ingresos hospitalarios debido a las patologías estudiadas. Otra forma de contrarrestar el error es analizando el modelo restringiéndolo en función de los valores de contaminación, tomando en cuenta aquellos días en los cuales la norma es superada o bien eligiendo una temporalidad diferenciada por las estaciones del año.

Los resultados obtenidos son respaldados con la evidencia descrita anteriormente por varios autores y equipos a nivel mundial, encontrándose concordancia total en los resultados, en donde por ejemplo a nivel nacional Bart D, Ostro y sus

colaboradores (Ostro et al., 1999) encontraron que un aumento de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} provocaba un aumento entre 4 y 12% en los ingresos hospitalarios por patologías respiratorias en niños menores de 2 años, mientras que un aumento de un 3% a 9% por las mismas patologías en los niños entre 3 y 15 años de edad. De igual modo, Ilabaca y sus colaboradores (Ilabaca et al., 1999) encontraron que un aumento de $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$ provocaba un aumento de un 2,7% en el número de visitas por urgencias debido a enfermedades respiratorias y un 6,7% debido solo a neumonía en los hospitales pediátricos de Santiago. Respecto a las enfermedades cardíacas, Leiva y colaboradores (Leiva G et al., 2013) obtienen un aumento en el riesgo por emergencias debido a accidentes cerebro vasculares de 1,29% a causa del incremento en $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$. Nuestros resultados reafirman dichas conclusiones y a la vez son un gran aporte debido a que por vez primera se analizan todos los contaminantes atmosféricos y todas las patologías cardíacas y respiratorias para todos los grupos etarios en la Región Metropolitana.

Internacionalmente los resultados son similares, en donde Neuberger y sus colaboradores (Neuberger et al., 2004) encuentran un aumento de un 5,6% de las atenciones por causas respiratorias en las mujeres mayores de 65 años debido al incremento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$. En China por ejemplo, el equipo liderado por Yan Tao (Tao et al., 2014) demuestran que todas las enfermedades respiratorias tienen un incremento de un 2,4%, 3,4% y 3,3% debido al aumento en los rangos intercuartílicos de PM_{10} , SO_2 y NO_2 respectivamente.

V. CONCLUSIONES

Al igual que las concentraciones de contaminantes en el aire, el número de ingresos hospitalarios por enfermedades respiratorias presenta variaciones estacionales, observándose un mayor número de atenciones por urgencia debido a dichas patologías en los meses fríos, lo cual es concordante con la evidencia previa. Dicho fenómeno no ocurre del mismo modo en las enfermedades cardíacas, siendo solamente evidente para la crisis hipertensiva en el grupo etario de los individuos entre 15 y 64 años cumplidos.

Los indicadores de calidad de aire obtenidos son representativos del área de la Región Metropolitana y presentan, como era de esperar, coeficientes de correlación positivos entre sí, existiendo mejores valores de correlación para los estimadores con mayor representatividad de la contaminación atmosférica como la mediana móvil diaria, el promedio regional de los promedios móviles de 24 horas, el promedio regional de los máximos diarios del promedio móvil y los promedios de los máximos diarios entre todas las estaciones de la Región. Dichos indicadores mostraron ser útiles para estudiar el comportamiento de la contaminación atmosférica en la Región Metropolitana y su relación con las admisiones hospitalarias en una escala diaria.

Las correlaciones entre la concentración de los contaminantes con las enfermedades respiratorias y cardíacas muestran en su mayoría valores positivos, destacando los coeficientes obtenidos para la crisis hipertensiva, neumonía, bronquitis y crisis obstructiva bronquial con los contaminantes monóxido de carbono, Material Particulado Fino y los Óxidos de Nitrógeno. Por su parte, el ozono presenta valores negativos debido a que los máximos de dicho contaminante se generan en los meses de verano. Los indicadores de calidad de aire que mejor correlacionan con las enfermedades estudiadas son aquellos que tienen una mayor representatividad espacial de toda la Región Metropolitana.

El análisis de los tiempos de desfase muestra que los mayores efectos se observan entre el tercer y cuarto día luego de la exposición a la contaminación atmosférica. Aquello implica que, frente a la predicción de dichos eventos, se puedan

tomar medidas en los centros asistenciales para cubrir la alta demanda en las atenciones de urgencia. En algunos casos se pueden observar efectos incluso luego de siete días tras la exposición a elevados índices de contaminación, como es el caso de los mayores de 65 años que en el séptimo día presentan el mayor valor de correlación entre los óxidos de nitrógeno y la neumonía, o bien, lo que ocurre con los menores entre 1 y 5 años al estar expuestos a material particulado fino presentándose aumentos en las atenciones de urgencia por neumonía y crisis obstructiva bronquial hasta 7 días después de la exposición.

Los valores de Riesgo Relativo (RR) son estadísticamente significativos ($p < 0,05$) en la gran mayoría de las patologías y los contaminantes. En las patologías cardíacas se obtienen en algunos casos resultados sin significancia estadística, como por ejemplo con el Accidente Vascular Encefálico y el Infarto Agudo al Miocardio con la mayoría de los contaminantes analizados. Aquello implica que dichas variables al no ser significativas, pueden ser eliminadas del modelo de regresión utilizada. De este modo se determina que los contaminantes mayormente nocivos frente a las patologías cardíacas son el Material Particulado Fino con el Infarto Agudo al Miocardio y la Arritmia Cardíaca, los Óxidos de Nitrógeno y Monóxido de Carbono con la Crisis Hipertensiva.

Se establece, que frente las patologías respiratorias, los contaminantes que presentan mayores riesgos relativos y riesgos atribuibles son los óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono y el material particulado fino, implicando mayores efectos adversos agudos en la salud de la población cuando dichos contaminantes elevan su concentración atmosférica. Debido a que la variación en los niveles de contaminación de los óxidos de nitrógeno y el material particulado es mayor en comparación al del monóxido de carbono se determina que los riesgos atribuibles a dichos contaminantes son los más elevados. En el caso del monóxido de carbono, a pesar de tener el mayor valor de Riesgo Relativo para la mayoría de las enfermedades, la variación que puede tener dicho contaminante es bastante baja, por lo cual su riesgo atribuible a dicho cambio no tiene gran impacto como en el caso de los óxidos de nitrógeno o el material particulado. Aquello se observa por ejemplo durante la semana del 20 al 26 de junio del 2011, en donde progresivamente la

concentración de Material Particulado Fino aumentó desde los 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta los 77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras la concentración de Monóxido de Carbono aumenta desde el 1ppm hasta los 3ppm. De igual modo, dichos contaminantes son los que presentan mayor asociación con patologías respiratorias como la neumonía, la crisis obstructiva bronquial, la infección respiratoria alta y la bronconeumonía, en todos los grupos etarios, además de la crisis hipertensiva en el caso de las patologías cardíacas en los mayores de 15 y 65 años. Aquello puede deberse a las características toxicológicas de dichos contaminantes, en donde los óxidos de nitrógeno son contaminantes irritativos de las vías respiratorias y, además, pueden alterar las propiedades fisicoquímicas de la sangre, provocando efectos agudos también en el sistema cardíaco. Así mismo, el monóxido de carbono al interferir con el transporte activo de oxígeno en el torrente sanguíneo, provoca problemas agudos sobre la salud de la población expuesta. Todo aquello finalmente provoca un efecto agudo en el corto plazo afectándose mayormente el sistema respiratorio, de carácter agudo, en comparación de las enfermedades cardíacas que tienen un carácter más bien crónico,

En este estudio se logra evidenciar la respuesta aguda de la población de la Región Metropolitana a los contaminantes atmosféricos, siendo observable hasta los 7 días posteriores a la exposición. Debido a que el modelo utilizado no contempla mayores tiempos de desfase es que no se puede observar el efecto acumulativo de los contaminantes en un alcance de tiempo mayor, en donde posiblemente puedan observarse efectos aún peores debido a que el periodo de exposición que se tiene en la Región Metropolitana en algunas ocasiones puede extenderse por varias semanas incluso meses. Es por ello que, en un posible estudio posterior, se pueda analizar el efecto de los contaminantes utilizando tiempos de desfase mayor o bien, analizando valores semanales de contaminación atmosférica, considerando que los índices de contaminación comienzan a ser significativos desde los meses de otoño hasta la primavera.

Finalmente, a la hora de mejorar el Programa de Prevención y Descontaminación Atmosférica, los principales gases que deben ser controlados son los NO_x , CO y $\text{PM}_{2,5}$, debido a su relación con aumentos de las atenciones primarias

de urgencia por enfermedades respiratorias como la neumonía, bronquitis, crisis obstructiva bronquial y la infección respiratoria alta en los menores de 5 años y los mayores de 65 años quienes se ven mayormente afectados.

Finalmente, es interesante incorporar a este debate el efecto de la contaminación acústica que presenta también asociación con enfermedades cardiovasculares.

VI. BIBLIOGRAFIA

- Alvarado, S.A., Silva, C.S., Cáceres, D.D., 2010. Modelación de episodios críticos de contaminación por material particulado (PM10) en Santiago de Chile: Comparación de la eficiencia predictiva de los modelos paramétricos y no paramétricos. *Gac. Sanit.* 24, 466–472.
- Atkinson, R.W., Anderson, H.R., Sunyer, J., Ayres, J., Baccini, M., Vonk, J.M., Boumghar, A., Forastiere, F., Forsberg, B., Touloumi, G., Schwartz, J., Katsouyanni, K., 2001. Acute effects of particulate air pollution on respiratory admissions: results from APHEA 2 project. *Air Pollution and Health: a European Approach. Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 164, 1860–1866. doi:10.1164/ajrccm.164.10.2010138
- Beatty, T.K.M., Shimshack, J.P., 2014. Air pollution and children's respiratory health: A cohort analysis. *J. Environ. Econ. Manag.* 67, 39–57. doi:10.1016/j.jeem.2013.10.002
- Borja-Aburto, V.H., 2000. Estudios ecológicos. *Salud Pública México* 42, 533–538. doi:10.1590/S0036-36342000000600010
- CONAMA, 2006. Manual de aplicación de las normas primarias de calidad del aire para gases.
- Franck, U., Leitte, A.M., Suppan, P., 2014. Multiple exposures to airborne pollutants and hospital admissions due to diseases of the circulatory system in Santiago de Chile. *Sci. Total Environ.* 468-469, 746–756. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.08.088
- Hernández-Avila, M., Garrido-Latorre, F., López-Moreno, S., 2000. Diseño de estudios epidemiológicos. *Salud Pública México* 42, 144–154. doi:10.1590/S0036-36342000000200010
- Ilabaca, M., Olaeta, I., Campos, E., Villaire, J., Tellez-Rojo, M.M., Romieu, I., 1999. Association between levels of fine particulate and emergency visits for pneumonia and other respiratory illnesses among children in Santiago, Chile. *J. Air Waste Manag. Assoc.* 1995 49, 154–163.
- Jamie Mullins, P.B., 2015. Effects of Short-Term Measures to Curb Air Pollution: Evidence from Santiago, Chile. *Am. J. Agric. Econ.* 97. doi:10.1093/ajae/aa081
- Leiva G, M.A., Santibañez, D.A., Ibarra E, S., Matus C, P., Seguel, R., 2013. A five-year study of particulate matter (PM2.5) and cerebrovascular diseases. *Environ. Pollut.* 181, 1–6. doi:10.1016/j.envpol.2013.05.057
- Linares, C., Díaz, J., 2009. Efecto de las partículas de diámetro inferior a 2,5 micras (PM2.5) sobre los ingresos hospitalarios en niños menores de 10 años en Madrid. *Gac. Sanit.* 23, 192–197.
- Ministerio del Medio Ambiente, 2011. Informe del Estado Medio Ambiente 2011.
- Morales, R.G.E. (Ed.), 2006. Contaminación atmosférica urbana: episodios críticos de contaminación ambiental en la ciudad de Santiago, Colección Textos universitarios. Editorial Universitaria, Santiago de Chile.
- Neuberger, M., Schimek, M.G., Horak Jr., F., Moshhammer, H., Kundi, M., Frischer, T., Gomiscek, B., Puxbaum, H., Hauck, H., 2004. Acute effects of particulate matter



- on respiratory diseases, symptoms and functions:: epidemiological results of the Austrian Project on Health Effects of Particulate Matter (AUPHEP). *Atmos. Environ.*, Includes Special Issue Section on Results from the Austrian Project on Health Effects of Particulates (AUPHEP) 38, 3971–3981. doi:10.1016/j.atmosenv.2003.12.044
- Ostro, B.D., Eskeland, G.S., Sanchez, J.M., Feyzioglu, T., 1999. Air pollution and health effects: A study of medical visits among children in Santiago, Chile. *Environ. Health Perspect.* 107, 69–73.
- Pope, C.A., Burnett, R.T., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Ito, K., Thurston, G.D., 2002. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA* 287, 1132–1141.
- Pope, C.A., Burnett, R.T., Thurston, G.D., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Godleski, J.J., 2004. Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. *Circulation* 109, 71–77. doi:10.1161/01.CIR.0000108927.80044.7F
- Romero, H., Ihl, M., Rivera, A., Zalazar, P., Azocar, P., 1999. Rapid urban growth, land-use changes and air pollution in Santiago, Chile. *Atmos. Environ.* 33, 4039–4047. doi:10.1016/S1352-2310(99)00145-4
- Saez, M., Pérez-Hoyos, S., Tobias, A., Saurina, C., Barceló, M.A., Ballester, F., 1999. Time series methods in the epidemiological studies regarding air pollution. *Rev. Esp. Salud Pública* 73, 133–143. doi:10.1590/S1135-57271999000200004
- Schwartz, J., 1994. Air pollution and daily mortality: a review and meta analysis. *Environ. Res.* 64, 36–52. doi:10.1006/enrs.1994.1005
- Schwartz, J., Spix, C., Touloumi, G., Bachárová, L., Barumamdzadeh, T., le Tertre, A., Piekarksi, T., Ponce de Leon, A., Pönkä, A., Rossi, G., Saez, M., Schouten, J.P., 1996. Methodological issues in studies of air pollution and daily counts of deaths or hospital admissions. *J. Epidemiol. Community Health* 50 Suppl 1, S3–11.
- Spiegel, M.R., Lindstrom, D.P., Gómez Castillo, R., Hano Roa, M. del C.E., 2009. *Estadística*. McGraw-Hill, México.
- Tao, Y., Mi, S., Zhou, S., Wang, S., Xie, X., 2014. Air pollution and hospital admissions for respiratory diseases in Lanzhou, China. *Environ. Pollut.* 185, 196–201. doi:10.1016/j.envpol.2013.10.035
- Toro A., R., Morales S., R.G.E., Canales, M., Gonzalez-Rojas, C., Leiva G., M.A., 2014. Inhaled and inspired particulates in Metropolitan Santiago Chile exceed air quality standards. *Build. Environ.* 79, 115–123. doi:10.1016/j.buildenv.2014.05.004