

EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS A CORTO PLAZO DE LOS CONTAMINANTES CRITERIO DEL AIRE SOBRE LA MORTALIDAD CARDIOPULMONAR EN LA LOCALIDAD DE FONTIBÓN-BOGOTÁ

EVALUATION OF THE SHORT-TERM EFFECTS OF CRITERIA POLLUTANTS ON CARDIOPULMONARY MORTALITY IN FONTIBÓN-BOGOTÁ

Buitrago Ocampo Conny Yohana¹

¹ Estudiante de la Facultad de Ingeniería Ambiental. Semillero de investigación Salud Ambiental grupo INAM – USTA y Protección Social y Salud Pública. Universidad Santo Tomás de Bogotá D.C., Colombia.

e-mail: connyyohana@gmail.com – conny.buitrago@usantotomas.edu.co

RESUMEN

El presente trabajo consiste en un estudio ecológico de series de tiempo con regresión de Poisson en el período comprendido entre el 24 de junio de 2008 y el 30 de junio de 2014 para la localidad de Fontibón, cuyo objetivo era evaluar el efecto a corto plazo de la contaminación del aire en la mortalidad cardiopulmonar de la población de dicho lugar, a través de un enfoque de múltiples contaminantes. Esto se hizo a partir de la recolección y organización de datos de contaminación atmosférica (CO, SO₂, NO₂, O₃ y PM₁₀) e información meteorológica proporcionada por el Sistema de Vigilancia de Calidad de Aire de Bogotá y datos la mortalidad por enfermedades cardiopulmonares obtenidos de la Secretaria Distrital de Salud de Bogotá, estableciendo la relación entre los contaminantes criterio y el incremento de la mortalidad en la población, usando el programa Stata 11.0 para realizar los análisis estadísticos. Se determinó que el PM₁₀ es el único contaminante que excede su concentración de acuerdo a los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010 y en la Guías de la OMS para contaminación atmosférica. Además, uno de los resultados fue que se encontró incremento en el riesgo del 7,87% en la mortalidad cardiopulmonar en el grupo de todas las edades por un aumento de 10 ppb en la concentración promedio de O₃ máximo 8 horas al combinarlo con el NO₂ 24 horas; con lo que se demuestra que si existe un Riesgo Relativo en el número de muertes diarias por un incremento en los niveles de los diferentes contaminantes criterio y su combinación entre ellos.

Palabras clave: mortalidad cardiopulmonar, EPOC, contaminantes criterio, contaminantes múltiples, riesgo relativo, series de tiempo.

ABSTRACT

The present work consists of an ecological study of time series with the Poisson regression in the period between June 24, 2008 and June 30, 2014 in Fontibón, whose objective was evaluate the short-term effect of air pollution on cardiopulmonary mortality in population of Fontibón, through a multi-pollutant focus. This was done through the collection and organization of atmospheric pollution data (CO, SO₂, NO₂, O₃ and PM₁₀) and meteorological information provided by the “ Sistema de Vigilancia de Calidad de Aire de Bogotá” and mortality data of cardiopulmonary diseases obtained from the “ Secretaria Distrital de Salud

de Bogotá”, establishing the relationship between criteria pollutants and the increase of mortality in the population. Stata 11.0 is used for statistical analysis. It was determined that PM₁₀ is the only pollutant that exceeds its concentration according to the maximum allowable limits established in Resolution 610 of 2010 and the WHO Guidelines for Air Pollution. In addition, one of the results found in the 7.87% risk in cardiopulmonary mortality in the all ages group by an increase of 10 ppb in the maximum O₃ concentration 8 hours combined with the NO₂ 24 hours; With this they demonstrate that there is in Relative Risk in the number of deaths by the level of the levels of the different pollutant criteria and their combination between them.

Key words: cardiopulmonary mortality, COPD, criteria pollutants, multiple contaminants, relative risk, time series.

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica de origen antropogénico ha venido acompañando al hombre prácticamente desde hace 500 años [1], aumentando su tasa de morbilidad y mortalidad al mismo tiempo que acorta su esperanza de vida. El estudio denominado “*The Global Burden of Diseases, Injuries, and Ricks Factors (GBD 2015)*” estimó la carga de enfermedad atribuible a 79 factores de riesgo en 195 países entre los años 1990 y 2015, identificando la contaminación del aire como una de las principales causas en la carga de morbilidad en las personas, especialmente en los países de bajos y medianos ingresos [2].

A partir de estimaciones realizadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el año 2012, se reconoce que cerca de siete millones de personas murieron en el mundo como consecuencia de la exposición a la contaminación atmosférica [3]. Luego, dichas estimaciones revelan un vínculo más estrecho entre la función que desempeña ésta en el desarrollo de enfermedades cardiovasculares y respiratorias [4]. Esto se materializa como una de las principales consecuencias del incremento de la mortalidad total (sin incluir muertes accidentales) de individuos que desarrollan enfermedades cardiopulmonares, luego de cuatro o cinco días de exposición a partículas, ozono y sulfatos [5].

Los contaminantes criterio afectan la salud de diferentes formas: el monóxido de carbono (CO), ocasiona déficit de oxígeno en la sangre, mareo, dolor de cabeza, vómito, coma neurológico, colapso en el sistema nervioso e incluso la muerte; el dióxido de azufre (SO₂), afecta las vías respiratorias superiores y disminuye el funcionamiento pulmonar; el dióxido de nitrógeno (NO₂), inflama las vías respiratorias inferiores, generando problemas cardiovasculares, bronquitis y asma; el ozono troposférico (O₃), inflama todo el sistema respiratorio superior, afecta a los pulmones y aumenta la probabilidad de contraer cáncer y finalmente el material particulado menor a 10 µm (PM₁₀), genera irritación en las vías respiratorias, tos, asma, arritmia cardíaca, ataques al corazón y bronquitis crónica [6].

Una problemática que afecta a Bogotá y otras grandes urbes, es que en términos de calidad de aire solo se presta importancia a los efectos individuales que los contaminantes mencionados ejercen sobre la salud, cuando la realidad es que las personas inhalan diariamente una mezcla compleja de los mismos, por lo que se hace importante la aplicación de un enfoque de contaminantes múltiples [7]. Al no aplicar este enfoque, no se conocería la cifra de muertes cardiopulmonares asociadas a la respiración de los contaminantes criterio mencionados y por lo tanto para Bogotá se incumpliría con una de las prioridades del Nodo SAO (Salud Ambiental y Ocupacional) de Colombia, que prioriza la investigación sobre enfermedades respiratorias y cardiovasculares ocasionadas por la contaminación del aire exterior [8].

La localidad de Fontibón ha registrado un alto nivel de contaminación atmosférica a causa de la presencia de PM_{10} [9] con un promedio diario de $98.4 \mu g/m^3$ y un nivel máximo de $266 \mu g/m^3$ para el año 2007 según reportes del Sistema de Vigilancia Epidemiológica [10], lo que genera una problemática local específica, evidenciada en los datos reportados por la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá (RMCAB), en la que para el año 2007 se observó el siguiente comportamiento en el PM_{10} teniendo en cuenta el Índice Bogotano de Calidad del Aire (IBOCA): durante 23 días del año, equivalentes al 6%, los niveles se encontraron dentro del límite de calidad del aire considerado como bueno; 312 días (85%) presentaron niveles moderados de contaminación y 4 días (1%) registraron niveles desfavorables o insalubres para la población [11]. Teniendo en cuenta esta problemática el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto a corto plazo de la contaminación del aire en la mortalidad cardiopulmonar de la población de la localidad de Fontibón, a través de un enfoque de múltiples contaminantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio ecológico de series de tiempo, el cual consiste en comparar las variaciones temporales de los niveles de exposición a contaminantes criterio del aire, con otra serie de tiempo que refleja los cambios en la frecuencia de la mortalidad en la población de un área geográfica específica; se resalta que los estudios ecológicos en epidemiología se distinguen de otros diseños en su unidad de observación, debido a que se caracterizan por estudiar grupos, en lugar de individuos por separado; además en ellos frecuentemente se desconoce la distribución conjunta de las características en estudio a nivel de cada individuo, debido al uso de promedios grupales [12]. En el presente trabajo se empleó dicho tipo estudio puesto que es de bajo costo, se realiza en un menor tiempo y hay disponibilidad de información suministrada por otras entidades para desarrollar cada análisis, permitiendo reconocer si existe o no una relación entre la mortalidad cardiopulmonar en la localidad de Fontibón y la presencia de los contaminantes criterio en el aire. Además, otra motivación para hacer este estudio ecológico es que en posteriores trabajos se puede establecer una

comparación de la mortalidad con otras localidades en los que los niveles de exposición a la contaminación atmosférica sean mayores, menores o similares.

Entonces, para el presente estudio se utilizaron los datos reportados por la RMCAB respecto a los contaminantes criterio (CO , SO_2 , NO_2 , O_3 y PM_{10}) y la información meteorológica correspondiente a la temperatura (T) en la localidad de Fontibón en el período comprendido entre el 24 de junio de 2008 y el 30 de junio de 2014. Es importante mencionar que para el caso del NO_2 solo se tomaron las fechas comprendidas entre el 24 de junio de 2008 y el 31 de diciembre de 2011. Este período de tiempo fue seleccionado de acuerdo a la disponibilidad de registros de contaminantes y su continuidad en las mediciones; cabe resaltar que los datos de humedad relativa (HR) se tomaron de los reportes meteorológicos del IDEAM. Para cada contaminante se calcularon los siguientes periodos de exposición, teniendo en cuenta que estos son los mismos que se miden en la Resolución 610 de 2010 y en la Guías de la OMS para contaminación atmosférica, por lo cual se puede hacer una comparación posteriormente con los límites máximos permisibles en la normatividad: PM_{10} promedio 24 horas, O_3 máximo horario, O_3 máximo promedio 8 horas, NO_2 24 horas, NO_2 máximo horario, CO máximo promedio 8 horas, CO máximo horario, SO_2 24 horas, SO_2 máximo promedio 3 horas, temperatura 24 horas, HR 24 horas, promedio anual de cada contaminante y precipitación acumulada diaria.

Posteriormente se estimaron las tasas de mortalidad en la población a causa de enfermedades cardiopulmonares en el mismo período de tiempo, a partir de los datos obtenidos de los certificados de defunción suministrados por la Secretaria Distrital de Salud. Dichos datos se filtraron por grupo etario (considerándose el grupo todas las edades y el grupo de mayores de 65 años) y enfermedades cardiopulmonares (tomándose en cuenta eventos como infarto agudo de miocardio, angina de pecho, enfermedad isquémica aguda del corazón, disritmia, enfermedad cerebrovascular, infección aguda de las vías respiratorias, infarto cerebral, influenza, neumonía, bronquitis, bronquiolitis, enfermedad pulmonar obstructiva crónica y asma), esto con el fin de realizar una descripción diaria y anual del comportamiento de la mortalidad en la localidad.

Para los registros de contaminantes criterio y variables meteorológicas se calcularon los estadísticos descriptivos de media, desviación estándar, mínimos, máximos, percentil 25, percentil 75 y rango intercuartilico (IQR) a partir del paquete Stata 11.0, con la finalidad de ver su comportamiento y además realizar una comparación con los valores de la normatividad nacional (Resolución 610 de 2010) y de las guías de la OMS, para así identificar cuáles de estos excedían los límites máximos permisibles. Posteriormente en el mismo paquete se calcularon otros estadísticos descriptivos (media, desviación estándar, mínimos y máximos) para la variable mortalidad en la localidad de Fontibón.

Los datos obtenidos para contaminación atmosférica, variables meteorológicas y mortalidad en el sitio de estudio durante el período comprendido entre el 24 de junio de 2008 y el 30 de junio de 2014, se organizan en una base de Excel, resaltándose que el valor diario de cada contaminante criterio es dividido por el IQR (lo que representaría un incremento en la contaminación), destacándose que si el IQR arrojaba un valor superior a 12, este rango ya no sería considerado para el caso en específico en que se evidencia dicha situación, sino que se asumiría 10 como un valor estándar [13].

Luego la base es exportada a Stata 11.0 y allí se aplica el modelo de Poisson mixto, el cual permite establecer la relación entre el número diario de muertes y los niveles en cada uno de los contaminantes [14], haciendo un ajuste de factores de confusión asociados a la temperatura, humedad relativa, precipitación y días festivos [15]; considerando a su vez no solo los efectos inmediatos, sino también los efectos diferidos de hasta cinco días (0-5) de la concentración de los contaminantes criterio [16]. Mediante este modelo se pretende establecer el Riesgo Relativo (RR), que permite determinar la probabilidad de ocurrencia de un evento [17], siendo importante en este estudio puesto que se estimó el número de muertes por un incremento en la concentración de cada contaminante.

RESULTADOS

Se registraron un total de 7.995 muertes para la localidad en el período comprendido de 2008 a 2014, siendo de interés 2.068 muertes (25,86% del total) que correspondieron a enfermedades cardiopulmonares, de las cuales se descartaron 325 muertes por encontrarse en meses de los años 2008 y 2014 de los cuales no se tenían datos de los contaminantes criterio evaluados en el presente estudio, quedando un total de 1.743 defunciones, donde el 66,4% de estas fueron por enfermedades cardiovasculares y el 33,6% por enfermedades respiratorias. El número máximo de muertes diarias presentadas en la población de la localidad de Fontibón por enfermedades cardiopulmonares para el período de estudio fue 6, donde quienes más fallecen a causa de dichas enfermedades son los mayores de 65 años, reportándose un máximo de 4 muertes diarias (66,7% del total). Por enfermedades cardiovasculares y respiratorias mueren un máximo de 4 personas diariamente, siendo los más afectados los mayores de 65 años (3 muertes diarias en cada grupo que corresponde a un 75% de la población total) (Tabla 1).

Tabla 1. Comportamiento de la mortalidad en la Localidad Fontibón, 24 de junio de 2008 – 30 de junio de 2014

Mortalidad	Observaciones	Media diaria	D.E diaria	Mínimo diario	Máximo diario
CP Total	1743	0,8054	0,8863	0	6
CP > 65 años	1387	0,6415	0,7912	0	4
CV Total	1156	0,5348	0,7254	0	4

Mortalidad	Observaciones	Media diaria	D.E diaria	Mínimo diario	Máximo diario
CV > 65 años	912	0,4214	0,6425	0	3
RP Total	587	0,2705	0,5209	0	4
RP > 65 años	475	0,2201	0,4678	0	3
IAM Total	517	0,2394	0,4832	0	3
IAM > 65 años	397	0,1848	0,4174	0	2
DR Total	376	0,1731	0,4175	0	3
DR > 65 años	320	0,1470	0,3882	0	3
CRB Total	263	0,1222	0,3487	0	2
CRB > 65 años	195	0,0894	0,2984	0	2
LRI Total	367	0,1697	0,4208	0	4
LRI > 65 años	265	0,1235	0,3537	0	3
EPOC Total	215	0,0987	0,3121	0	2
EPOC > 65 años	207	0,0953	0,3064	0	2

CP: Cardiopulmonar; CV: Cardiovascular; RP: Respiratoria; RPM: Respiratorias sin influenza y neumonía; IAM: Infarto Agudo del Miocardio; DR: Disrimias; CRB: Cerebrovascular; LRI: Infección Respiratoria de las vías áreas inferiores; EPOC: Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica; D.E: Desviación Estándar

Fuente: El Autor

Según las Guías de la OMS para calidad del aire [18] la concentración de PM₁₀ 24 horas durante el período de estudio excede el máximo permisible diario (50 µg/m³) y el máximo permisible anual (20 µg/m³) con un valor de 56,76 µg/m³, mientras que en la normatividad nacional (Resolución 610 de 2010) este valor cumple la concentración permisible diaria (100 µg/m³), pero excede la concentración de 50 µg/m³ (valor anual); los demás contaminantes no exceden los límites máximos permisibles tanto de las Guías de la OMS como la normatividad Colombiana. Es importante resaltar que el NO₂ registró una concentración de 19,11 ppb, estando cerca de sobrepasar el valor máximo permisible anual de 21 ppb establecido por las Guías de la OMS [18] (Tabla 2).

Tabla 2. Comportamiento de contaminantes y parámetros meteorológicos Sistema de vigilancia de calidad del aire de Bogotá Localidad Fontibón, 24 de junio de 2008-30 de junio de 2014

Contaminante o parámetro meteorológico	Obs.	Media	D.E	Mín.	Máx.	P25	P75	RIQ	% datos disponibles
PM ₁₀ ** (24 horas + µg/m ³ ++)	1.806	56,76	19,32	12,54	243,20	42,91	68,87	25,95	82,16

Contaminante o parámetro meteorológico	Obs.	Media	D.E	Mín.	Máx.	P25	P75	RIQ	% datos disponibles
O ₃ (Máximo horario ppb)	1.745	29,91	12,70	6,48	83,86	20,62	36,57	15,95	79,39
O ₃ (Promedio Máximo 8 horas ppb)	1.745	23,15	9,28	4,03	65,71	16,27	28,75	12,48	79,39
CO (Máximo horario ppm)	1.609	1,25	0,54	0,17	11,75	0,92	1,153	0,61	73,20
CO (Promedio Máximo 8 horas ppm)	1.609	0,78	0,30	0,09	2,38	0,57	0,93	0,36	73,20
SO ₂ (24 Horas) ppb	1.52	2,65	2,43	0,15	29,85	1,36	3,07	1,71	69,19
SO ₂ (Promedio Máximo 3 Horas) ppb	1.521	6,41	5,69	0,27	60,25	2,81	7,87	5,06	69,19
NO ₂ (24 Horas) ppb	935	19,11	5,91	5,68	43,66	15,30	22,77	7,46	72,70
NO ₂ (Máximo Horario) ppb	935	33,94	11,45	10,71	83,49	26,83	40,15	13,32	72,70
Temperatura °C	2.187	14,11	0,83	10,77	17,07	13,56	14,65	1,09	99,49
Humedad Relativa (%)	2.066	79,25	7,36	54	99	74	85	11	93,99

Obs: Observaciones; D,E: Desviación Estandar, P25: Percentil 25, P75: Percentil 25, RIQ: Rango Intercuartil; ppb: Partes por billón; ppm: Partes por millón; *: la concentración del contaminante excede el máximo promedio diario permitido por la Resolución 610 de 2010; **: la concentración del contaminante excede el máximo promedio diario permitido por las Guías de la OMS; +: la concentración del contaminante excede el máximo promedio anual permitido por la Resolución 610 de 2010, ++: la concentración del contaminante excede el máximo promedio anual permitido por las Guías de la OMS.

Fuente: El Autor

En la tabla 3 se presentan los valores de los RIQ calculados y utilizados para estimar el aumento de la mortalidad cardiopulmonar por la exposición a los contaminantes criterio del aire en la localidad de Fontibón.

Tabla 3. Valores calculados para el incremento en las concentraciones diarias de cada uno de los contaminantes para la localidad de Fontibón

Contaminante	Valor empleado como referencia para el incremento
PM ₁₀ (24 horas µg/m ³)	10 *

O ₃ (Máximo horario ppb)	10 *
O ₃ (Promedio Máximo 8 horas ppb)	10 *
SO ₂ (24 Horas) ppb	1,7121 +
SO ₂ (Promedio Máximo 3 Horas) ppb	5,06 +
NO ₂ (24 Horas) ppb	7,634 +
NO ₂ (Máximo Horario) ppb	10 *

+: señala que el valor empleado corresponde al del rango intercuartil; *: señala que el valor empleado corresponde a un valor estándar

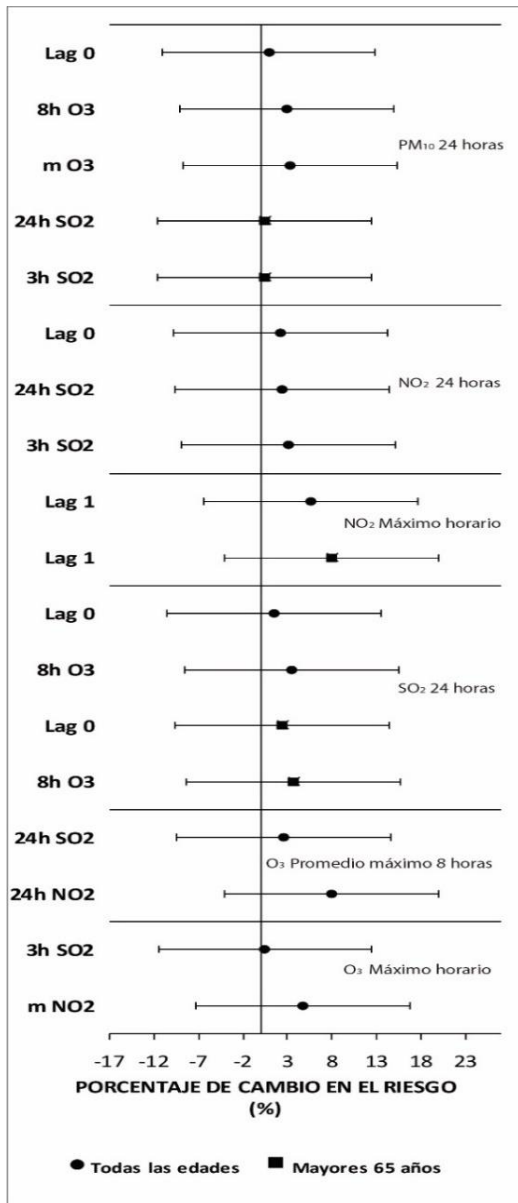
Fuente: El Autor

Cambio en el porcentaje del riesgo en la mortalidad

Según el RR calculado mediante la regresión de Poisson Mixta en Stata 11.0, para la mortalidad por causa cardiopulmonar, en el grupo de todas las edades, se observó un aumento del riesgo del 7,87% (IC95%:-6,76%;24,81%) por un incremento de 10 ppb en la concentración promedio de O₃ máximo 8 horas combinado con NO₂ 24 horas y un riesgo del 4,70% (IC95%:-5,86%;16,47%) cuando aumenta en 10 ppb el máximo horario de O₃ y se une con el NO₂ máximo horario. Además, por un incremento de 10 ppb en el NO₂ máximo horario con un día de retraso (lag1), se observó un incremento en el riesgo de 5,5% (IC95%:-4,46%;16,7%) en toda la población, mientras que en el grupo de mayores de 65 años el riesgo para este contaminante fue mayor, siendo este de 7,9% (IC95%:-3,48%;20,65%). Cabe resaltar que ninguno de los porcentajes de cambio en el riesgo fue estadísticamente significativo (Figura 1).

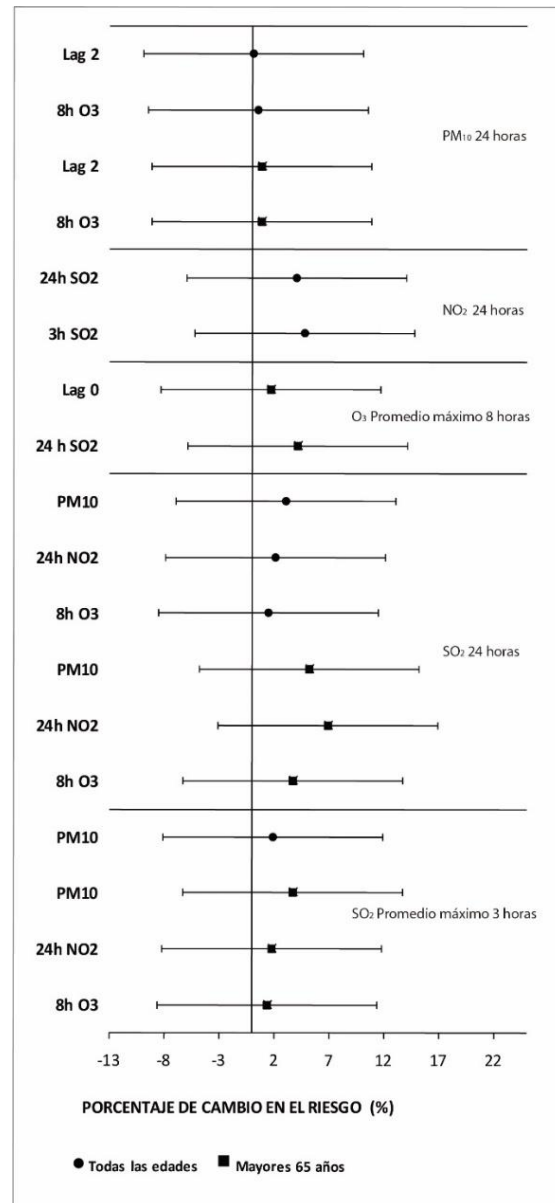
En cuanto a la mortalidad por enfermedades cardiovasculares se observó que el riesgo para la población mayor de 65 años fue de 3,7% (IC95%:-9,35%;18,71%) por un incremento de 5,06 ppb en la concentración de SO₂ promedio máximo 3 horas al combinarlo con el PM₁₀ 24 horas y un riesgo del 3,1% (IC95%: -8,78%;16,54%) si la concentración de O₃ promedio máximo 8 horas aumenta en 10 ppb y se combina con el SO₂ 24 horas. También se encontró que un incremento de 7,63 ppb en la concentración de NO₂ 24 horas aumenta el riesgo de mortalidad por causa cardiovascular en un 4,8% (IC95%:-18,22%;34,4%) en los mayores de 65 años y del 4,1% (IC95%:-18,74%;33,38%) en el grupo de todas las edades, al combinarse con SO₂ promedio máximo 3 horas y con SO₂ 24 horas respectivamente. Cabe resaltar que ninguno de los porcentajes de cambio en el riesgo fue estadísticamente significativo (Figura 2).

Figura 1. Porcentaje de cambio en el riesgo en la mortalidad cardiopulmonar por un aumento del valor del rango intercuartil en el promedio del contaminante en la localidad de Fontibón. 2008-2014.



Fuente: El autor

Figura 2. Porcentaje de cambio en el riesgo en la mortalidad cardiovascular por un aumento del valor del rango intercuartil en el promedio del contaminante en la localidad de Fontibón. 2008-2014.

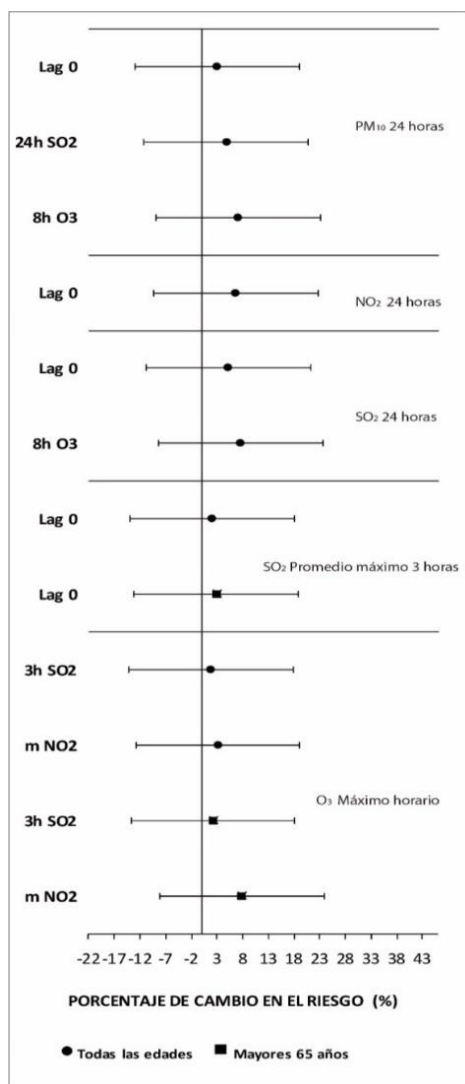


Fuente: El autor

La mortalidad por causa respiratoria, en los mayores de 65 años, mostró un aumentó en el riesgo de 7,7% (IC95%:-12,40%;32,63%) por un incremento de 10 ppb en la concentración

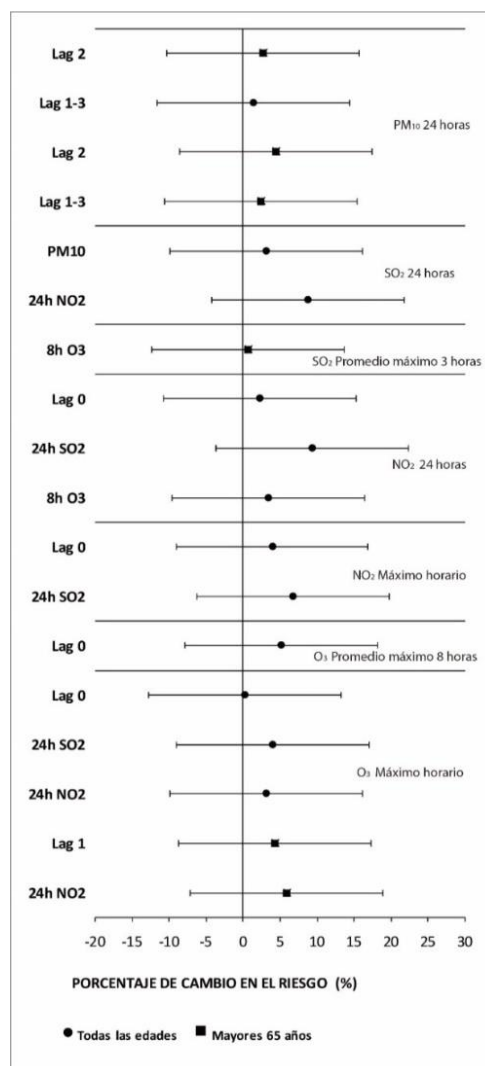
máximo horario de O₃ al combinarse con el NO₂ máximo horario. Para todas las edades se presentó un riesgo de 7,5% (IC95%:-8,01%;25,7%) por un aumento de 1,71 ppb de SO₂ en el promedio 24 horas al combinarse con el O₃ promedio máximo 8 horas, mientras que el riesgo fue de 7,05% (IC:95%:-0,79%;15,52%) cuando se incrementa 10 µg/m³ en el promedio diario de PM₁₀ y se combina con O₃ promedio máximo 8 horas. Ninguno de los porcentajes de cambio en el riesgo fue estadísticamente significativo (Figura 3).

Figura 3. Porcentaje de cambio en el riesgo en la mortalidad respiratoria por un aumento del valor del rango intercuartil en el promedio del contaminante en la localidad de Fontibón. 2008-2014.



Fuente: El Autor

Figura 4. Porcentaje de cambio en el riesgo en la mortalidad por infarto agudo del miocardio por un aumento del valor del rango intercuartil en el promedio del contaminante en la localidad de Fontibón. 2008-2014.



Fuente: El Autor

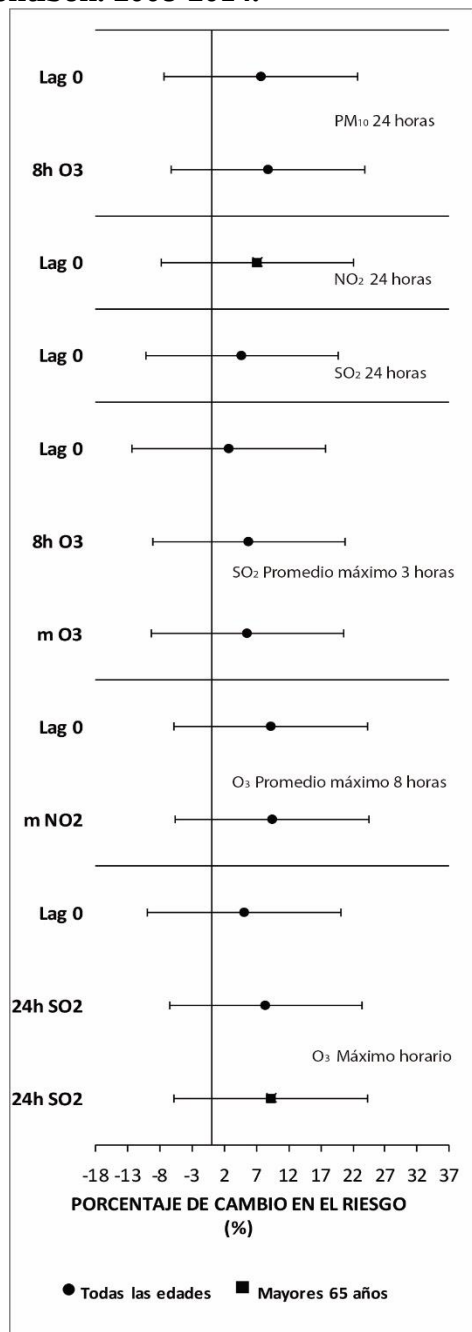
Para eventos específicos como el infarto agudo de miocardio se observó un aumento en el riesgo de 9,3% (IC95%:-28,01%;66,19%) para todas las edades, por un incremento de 7,63 ppb en el promedio 24 horas de NO₂ combinado con el SO₂ 24 horas y de 8,7% (IC95%:-14,19%;37,85%) por un aumento de 1,71 ppb en el promedio diario de SO₂ 24 horas combinado con el NO₂ 24 horas. Al igual que los porcentajes de cambio anteriores, ninguno fue estadísticamente significativo (Figura 4).

Para la mortalidad por enfermedad cerebrovascular e infarto cerebral, se observó un aumento de 9,2% (IC95%:-14,12%;39%) para el grupo de mayores de 65 años y 8,4% (IC95%:-12,33%;34,12%) para todas las edades, cuando la concentración del O₃ máximo horario se incrementa en 10 ppb y se combina con el SO₂ promedio diario. Además, si se aumenta en este mismo nivel el promedio máximo 8 horas de O₃ y se combina con el NO₂ máximo horario, el riesgo para todas las edades sería del 9,3% (IC95%:-24,62%;58,77%). En este mismo grupo se presentó un riesgo del 8,7% (IC95%:-4,04%;23,35%) por un incremento de 10 µg/m³ en la concentración promedio diario de PM₁₀ 24 cuando se combina con el O₃ promedio máximo 8 horas (Figura 5).

En cuanto a la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), en la población mayor de 65 años se observó un aumento en el riesgo de 3,8% (IC95%:-23,16%;40,4%) por un incremento de 10 ppb en la concentración máxima horaria de O₃ combinado con el SO₂ promedio máximo 3 horas; además se encontró un incremento del 3,3% (IC95%:-9,56%;18,02%) en la mortalidad por un aumento de 10 µg/m³ en el promedio diario de PM₁₀ combinado con el O₃ promedio máximo 8 horas. Ninguno de los porcentajes de cambio en el riesgo fue estadísticamente significativo (Figura 6).

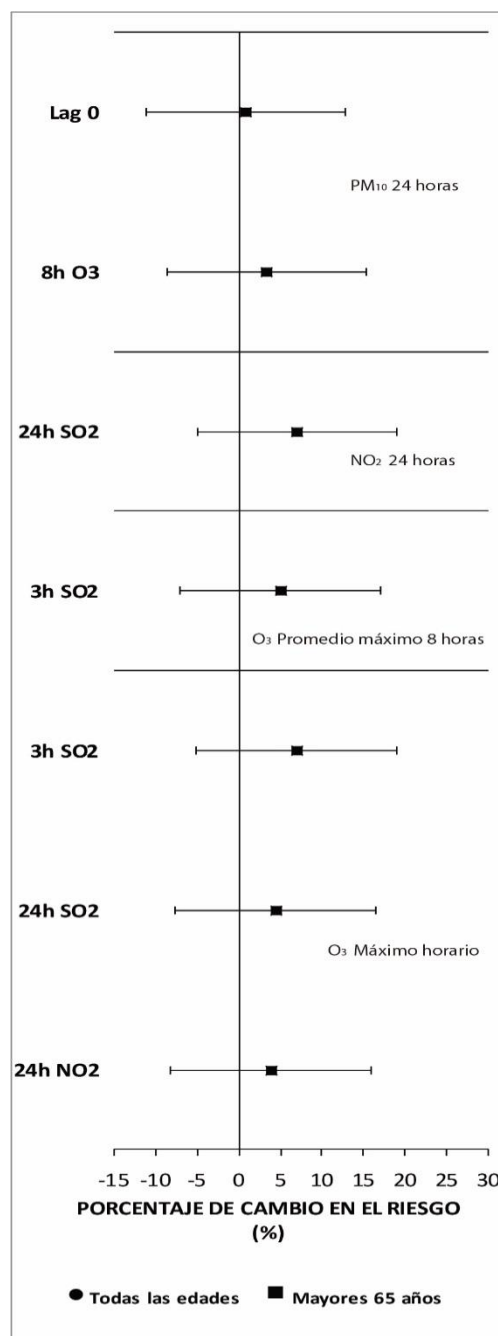
Frente a mortalidad por disritmias, se encontró un incremento en el riesgo de 9,90% (IC95%:-12%;36%) en el grupo de mayores de 65 años, por el aumento de 1,71 ppb en el promedio diario de SO₂ combinado con el O₃ máximo promedio 8 horas. Cuando se incrementó 5,06 ppb el valor del promedio máximo 3 horas de SO₂, se observó un riesgo del 6,4% (IC95%:-14%;28%) en la mortalidad en todas las edades, al combinarse este con el PM₁₀ promedio 24 horas. Adicionalmente, al incrementar la concentración de O₃ máximo promedio 8 horas en 10 ppb, los mayores de 65 años tendrían un riesgo del 2,38% (IC95%:-18%;26%) en el día de la exposición al contaminante (Lag 0). Ninguno de los porcentajes de cambio en el riesgo fue estadísticamente significativo (Tabla 4).

Figura 5. Porcentaje de cambio en el riesgo en la mortalidad por enfermedad cerebrovascular e infarto cerebral por un aumento del valor del rango intercuartil en el promedio del contaminante en la localidad de Fontibón. 2008-2014.



Fuente: El autor

Figura 6. Porcentaje de cambio en el riesgo en la mortalidad por enfermedad pulmonar obstructiva crónica por un aumento del valor del rango intercuartil en el promedio del contaminante en la localidad de Fontibón. 2008-2014.



Fuente: El autor

Tabla 4. Porcentaje de cambio en el riesgo por mortalidad por disritmias en la Localidad de Fontibón, 2008 – 2014

Grupo de Edad	Contaminante	Lag o combinación con contaminante	RR	D.E	ICI	ICS	%CR
> 65 años	SO ₂ 24 horas	O ₃ 8 horas	1,09	0,12	0,88	1,36	9,90
Todas	SO ₂ máximo promedio 3 horas	Lag 1	1,01	0,08	0,86	1,19	1,70
Todas	SO ₂ máximo promedio 3 horas	PM ₁₀	1,05	0,10	0,86	1,28	6,46
Todas	O ₃ máximo promedio 8 horas	PM ₁₀	1,01	0,11	0,80	1,28	1,62
> 65 años	O ₃ máximo promedio 8 horas	Lag 0	1,02	0,11	0,82	1,26	2,38

RR: Riesgo Relativo; D,E: Desviación Estándar; ICI: Intervalo de Confianza Límite Inferior; ICS: Intervalo de Confianza Límite Superior; %CR: Porcentaje de Cambio en el Riesgo.

Fuente: El Autor

Tabla 5. Porcentaje de cambio en el riesgo por mortalidad por Infección de las vías aéreas inferiores (LRI) en la Localidad Fontibón. 2008 – 2014

Enfermedad	Contaminante	Lag o combinación con contaminante	RR	D.E	ICI	ICS	%CR
LRI	PM ₁₀ 24 horas	Lag 0	1,03	0,04	0,95	1,12	3,65
	PM ₁₀ 24 horas	SO ₂	1,04	0,05	0,94	1,15	4,32
	PM ₁₀ 24 horas	O ₃ 8 horas	1,09	0,05	0,99	1,20	9,56
	SO ₂ 24 horas	NO ₂	1,02	0,13	0,79	1,32	2,62
	O ₃ máximo promedio 8 horas	Lag 1	1,04	0,10	0,86	1,26	4,38

RR: Riesgo Relativo; D,E: Desviación Estándar; ICI: Intervalo de Confianza Límite Inferior; ICS: Intervalo de Confianza Límite Superior; %CR: Porcentaje de Cambio en el Riesgo.

Fuente: El Autor

La mortalidad por infección de las vías respiratorias bajas (LRI), en todas las edades, mostró un riesgo de 2,62% (IC95%:-21%;32%) como consecuencia de un incremento de 1,71 ppb

en la concentración promedio 24 horas de SO₂ combinado con el NO₂ 24 horas. Además se encontró un aumento del riesgo de un 4,38% (IC95%:-14%;26%) al incrementarse la concentración de O₃ máximo promedio 8 horas en 10 ppb con un día de retraso (Lag 1). Ninguno de los porcentajes de cambio en el riesgo fue estadísticamente significativo (Tabla 5).

DISCUSIÓN

Los habitantes mayores de 65 años presentan un mayor porcentaje de mortalidad (66,7%) a causa de enfermedades cardiopulmonares, ya que presentan una limitada reserva fisiológica y muchos sufren de fragilidad y desacondicionamiento [19]. En países como Estados Unidos, la tercera causa principal de muerte en personas de este rango de edad es la enfermedad cerebrovascular, seguida por enfermedades crónicas de las vías respiratorias bajas, que incluyen la bronquitis crónica y el asma [20].

Desde el año 2001 en el área urbana de Bogotá se incumple la norma anual de PM₁₀ en más del 40% de los días del año [21], siendo la localidad de Fontibón una de las cuatro más afectadas al presentar altas concentraciones de este contaminante [22], tal y como se evidenció en el presente trabajo, donde para el período analizado se registró un promedio de 56,76 µg/m³, que excedió el valor anual permisible de la normatividad nacional y la Guía de calidad del aire de la OMS, que al tener un límite más estricto (20 µg/m³) reconoce que este nivel de exposición es inadecuado para la población [21], además de buscar dar soporte a las medidas que cada país adopte y a que su límite anual este basado en evidencia de estudios epidemiológicos [23]. Adicionalmente, para el promedio 24 horas de PM₁₀ se evidenció que en el período de estudio a pesar que cumple con el límite de 100 µg/m³ establecido en la normatividad nacional, este valor ofrece un riesgo moderado para los mayores de 65 años, ya que concentraciones entre los 55 a 154 µg/m³ han evidenciado efectos en salud [9], por lo que es importante llegar al valor de 50 µg/m³ de la OMS, lo que conlleva a un 5% de reducción de mortalidad por todas las causas y a un 40% de reducción en visitas hospitalarias por enfermedades respiratorias [19].

Otro aspecto importante, es incluir dentro de la normativa colombiana la medición de un periodo de exposición anual de NO₂ menor a 53 ppb, ya que como se evidenció para la localidad de Fontibón se alcanzó una concentración promedio de 19,11 ppb, que está cerca de sobrepasar el valor máximo permisible anual de 21 ppb establecido por la OMS, donde cabe resaltar que aún no se han determinado los umbrales por debajo de los cuales no se presentan efectos nocivos para este y otros contaminantes [23].

El presente estudio encontró que los mayores de 65 años tienen riesgo de morir por enfermedades cardiopulmonares como consecuencia de la exposición a un incremento de 10 ppb en el máximo horario de NO₂ en el Lag 1, siendo esto confirmado a principios de 1990-

1991 por Saldiva et al quienes encontraron que las personas de edad avanzada tenían riesgo de morir por diferentes contaminantes criterio entre los que se encuentra el NO₂ [24]. Además, un estudio llevado a cabo en Wuhan (China), encontró interacciones significativas entre el NO₂ y la mortalidad diaria por enfermedades cardiopulmonares [25]. El presente trabajo permitió reconocer que un incremento de 7,63 ppb de NO₂ en el promedio de 24 horas, ocasiona un riesgo de morir por enfermedades cardiovasculares del 4,01%, en todas las edades, al combinarse con el SO₂ 24 horas, lo cual es comparable con los resultados del estudio realizado en Wuhan que encontró una asociación estadísticamente significativa en la mortalidad por dichas enfermedades debido a un incremento en las concentraciones de estos contaminantes, principalmente por el NO₂, que tenía como principal fuente de contaminación a las emisiones de los automóviles [26].

A su vez el presente trabajo estableció que un incremento de 10 µg/m³ en el promedio diario de PM₁₀ y su combinación con el O₃ promedio máximo 8 horas, genera un riesgo de 7,05% de morir a causa de enfermedades respiratorias en la población general, lo que se puede comparar con el estudio *Advenstist Health and Smog*, en el que se encontró un efecto significativo del PM₁₀ en las muertes respiratorias en hombres y mujeres, existiendo también evidencia de que el ozono produce efectos a corto plazo en la mortalidad respiratoria en varias ciudades de Europa, así existan bajas concentraciones del contaminante [27]. El proyecto APHEA también estableció asociaciones positivas entre la exposición al PM₁₀ y la mortalidad respiratoria, mostrando que en Canadá el PM₁₀ genera un mayor efecto cuando existen concentraciones de O₃ [28].

Para enfermedades específicas como el infarto agudo del miocardio, el presente trabajo registró un riesgo de mortalidad del 9,3% para todas las edades, al incrementar la concentración de NO₂ 24 horas en 7,63 ppb y combinarse con el SO₂ 24 horas; esto puede ser comparado con un estudio británico que a partir de una base de datos de esta enfermedad (2003-2006), realizó un modelo de contaminantes en el que encontró una asociación en el riesgo de morir si se incrementa en 10 ppb la concentración de NO₂, al igual que se confirma que existen varios ingresos hospitalarios por dicho infarto, ocasionado por altas concentraciones de SO₂, observándose este vínculo en la ciudad de Wallonia, en donde la mortalidad aumenta en los días de altas emisiones de este contaminante [29], siendo evidenciada esta misma relación en Londres [30]. Xuping Song et al en 2016, realizaron un estudio de exposición a corto plazo que encontró que los contaminantes como el PM₁₀ y el SO₂ pueden incrementar el riesgo de mortalidad por arritmias, más cuando existen concentraciones elevadas de estos, lo que se evidenció en el presente estudio en donde el grupo de todas las edades tiene un riesgo de fallecer del 6,4% a causa de esta enfermedad, por un incremento de 5,06 ppb en la concentración máxima de 3 horas de SO₂ al combinarse con el PM₁₀ 24 horas [31].

La población mayor a 65 años presenta el mayor riesgo de morir por enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) debido a que son los más susceptibles la exposición a patógenos y al envejecimiento, lo que ocasiona que su sistema inmunitario y su función respiratoria se debilite [32]. Un resultado importante en este estudio es un riesgo de mortalidad por esta enfermedad del 3,8% para dicha población, por un incremento de 10 ppb en la concentración máxima horaria de O₃ máximo combinado con el SO₂ promedio máximo 3 horas; además de un aumento del 3,3% por un incremento de 10 µg/m³ en el promedio diario de PM₁₀ combinado con el O₃ promedio máximo 8 horas; y finalmente un riesgo de 7,05% por el incremento de 7,63 ppb en el promedio diario de NO₂ y su combinación con el SO₂ 24 horas. A pesar de la existencia de este riesgo la disponibilidad de información sobre los efectos de estos contaminantes en el aire y los factores meteorológicos, en la mortalidad a causa del EPOC ha sido limitada. Una investigación realizada en cuatro ciudades chinas establece que la contaminación del aire es responsables del 1% de los casos de EPOC en países de altos ingresos y el 2% en los países de bajos ingresos [33], lo que podría verse reflejado para el segundo caso en la mortalidad de la localidad de Fontibón. Un estudio realizado en Taipei encontró claras asociaciones entre las visitas hospitalarias en el periodo comprendido entre el año 2000 y 2013 por esta enfermedad a causa de O₃ (siendo este más significativo) y SO₂ en la población de edad avanzada (65 a 79 años) [30], mientras que otra investigación realizada por X. Meng et al demostró que la contaminación del aire exterior por PM₁₀, SO₂ y NO₂ se asocia con la mortalidad por EPOC, siendo un caso de vital importancia ya que empleó un enfoque de contaminantes múltiples, como en el presente trabajo; a pesar de que no se presentan claramente los mecanismos a través de los cuales los contaminante criterio influyen en la mortalidad por esta enfermedad, se establecen posibles causas, como por ejemplo la exposición al NO₂ que podría aumentar la liberación de mediadores inflamatorios a partir de las células epiteliales bronquiales y mejorar el reclutamiento de macrófagos y linfocitos T a las vías respiratorias, o el SO₂ puede producir un efecto irritante inmediato en la mucosa respiratoria por su alta solubilidad en el agua en el tracto respiratorio superior, habiendo una explicación alternativa y es que la deposición pulmonar de los contaminantes del aire inhalados puede ser mucho más alta en pacientes con enfermedades de las vías respiratorias que en sujetos normales [33].

La labor investigativa realizada ha permitido generar una intervención y un impacto social mediante la generación de conocimiento relacionado con el efecto multi-contaminante de la interacción entre contaminantes criterio del aire, con lo que se permite establecer los niveles de riesgo para la salud humana y los efectos reales de la contaminación en la salud en la localidad de Fontibón de la ciudad de Bogotá. Además, este estudio contribuye desde la academia con información relevante en la temática de calidad del aire y la salud, útil para las entidades del distrito, representadas por la Secretaria Distrital de Salud y la Secretaria Distrital de Ambiente de Bogotá. De esta forma la cadena de valor de conocimiento construida al interior de la universidad, puede integrarse con la cadena de valor de la

economía, la comunidad y la sociedad. Finalmente la sociedad podrá recibir los efectos extendidos del conocimiento que le permitan mejorar la calidad de vida [34].

REFERENCIAS

- [1] F. Vargas Marcos, «La contaminación del aire como factor determinante de la salud,» *Revista Española de Salud Pública*, vol. 79, nº 2, pp. 117-127, 2005.
- [2] A. Cohen, R. Burnett, R. Anderson, J. Frostad, K. Estep, K. Balakrishnan, B. Brunekreef, L. Dandona, R. Dandona, V. Feigin, G. Freedman, B. Hubell, A. Jobling, H. Kan, L. Knibbs, Y. Liu, R. Martin, L. Morawska, A. Pope III, H. Shin, K. Straif, G. Shaddick, M. Thomas, R. van Dingenen, A. van Donkelaar, T. Vos, C. Murray y M. Forouzanfar, «Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015,» *The Lancet*, pp. 1-12, 2017.
- [3] J.-O. Park, S. Yoon, M. Hwan Na y H.-C. Song, «The effects of air pollution on mortality in South Korea,» *ELSEVIER*, vol. 26, pp. 62-65, 2015.
- [4] ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, «7 millones de muertes cada año debidas a la contaminación atmosférica,» 25 Marzo 2014. [En línea]. Available: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/es/>. [Último acceso: 04 Septiembre 2016].
- [5] INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO, «Los efectos en la salud por la contaminación del aire,» [En línea]. Available: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/394/cap4.pdf>. [Último acceso: 15 Septiembre 2016].
- [6] N. Tyler , C. Ramírez, A. Ortegón, J. Acevedo Bohórquez, J. P. Bocarejo Suescún, J. M. Velázquez y A. M. Peroza Daza, «Marco Teórico de contaminación atmosférica en Colombia,» University College London & Universidad de los Andes , Bogotá, 2013.
- [7] A. Davalos, T. Luben, A. Herring y J. Sacks, «Current approaches used in epidemiologic studies to examine short-term multipollutant air pollution exposures,» *Annals of Epidemiology*, vol. 27, nº 2, pp. 145-153, 2017.
- [8] L. Villamizar Rodríguez, B. E. González, L. M. Vera, J. Patz y L. Bautista, «Environmental and occupational health research and training needs in Colombia: A Delphi study,» *Biomedica*, vol. 35, pp. 58-65, 2015.

- [9] N. Rojas, «Aire y problemas ambientales de Bogotá,» Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- [10] L. J. Hernandez Florez, Asociación entre la contaminación del aire y la morbilidad por enfermedad respiratoria aguda en menores de 5 años en tres localidades de Bogotá, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2010.
- [11] SECRETARÍA DE SALUD DE BOGOTÁ, «Vigilancia epidemiológica de la relación entre calidad de aire y salud en la localidad de Fontibón,» Alcaldía Mayor de Bogotá, Bogotá, 2008.
- [12] V. H. Borja Aburto, «Estudios ecológicos,» *Salud Pública de México*, vol. 42, nº 6, pp. 533-538, 2000.
- [13] INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA, «Selección de funciones exposición-respuesta (FER),» de *Guía para evaluar los impactos en la salud por la instrumentación de medidas de control de la contaminación atmosférica*, México D.F., 2011, p. 25.
- [14] L. C. Blanco Becerra, V. Miranda Soberanis, A. Barraza Villarreal, W. Junger, M. Hurtado Díaz y I. Romieu, «Effect of socioeconomic status on the association between air pollution and mortality in Bogotá, Colombia,» *Salud Pública de México*, vol. 56, nº 4, pp. 371-378, 2014.
- [15] L. A. Rodríguez Villamizar, A. B. Herrera López, H. Castro Ortiz, J. Niederbacher Velázquez y L. M. Vera Cala, «Incidencia de síntomas respiratorios y su asociación con contaminación atmosférica en preescolares: un análisis multinivel,» *Cadernos de Saúde Pública*, vol. 26, nº 7, pp. 1411-1418, 2010.
- [16] D. Stieb, S. Judek y R. Burnett, «Meta-analysis of time-series studies of air pollution and mortality: effects of gases and particles and the influence of cause of death, age, and season,» *J Air Waste Manag Assoc*, vol. 52, nº 4, pp. 470-488, 2002.
- [17] HOSPITAL UNIVERSITARIO RAMÓN Y CAJAL, «Riesgo Relativo,» Salud Madrid, 2017. [En línea]. Available: http://www.hrc.es/bioest/Medidas_frecuencia_62.html. [Último acceso: 28 Junio 2017].
- [18] ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, «Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre,» Ginebra, 2005.
- [19] M. I. Berrío Valencia, «Envejecimiento de la población: un reto para la salud pública,» *Revista Colombiana de Anestesiología*, vol. 40, nº 3, pp. 192-194, 2012.

- [20] Y. Gorina, D. Hoyert, H. Lentzner y M. Goulding, «Trends in causes of death among older person in te United States,» U.S. Department of Health and Human Services, Hyattsville, 2005.
- [21] «Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá,» *Revista de Ingeniería. Universidad de los Andes* , nº 26, pp. 81-92, 2007.
- [22] N. Rojas, «Aire y problemas ambientales de Bogotá,» Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- [23] E. J. Zapata Palacio, «Análisis ambiental descriptivo de patologías respiratorias y contaminación del aire por material particulado respirable (PM10) en la localidad de Fontibón, Bogotá D.C.,» Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, 2015.
- [24] M. Simoni, S. Baldacci, S. Cerrai, G. Sarno y G. Viegi, «Adverse effects of outdoor pollution in the elderly,» *Journal fo Thoracic Disease*, vol. 7, nº 1, pp. 34-45, 2015.
- [25] Z. Qian, H.-M. Lin, W. Stewart, L. Kong, F. Xu, D. Zhou, Z. Zhu, S. Liang, W. Chen, N. Shah, C. Stetter y Q. He, «Seasonal Pattern of the Acute Mortality Effects of Air Pollution,» *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 60, pp. 481-488, 2012.
- [26] Y. Liu, X. Chen, S. Huang, L. Tian, Y. Lu, Y. Mei, M. Ren, N. Li, L. Liu y H. Xiang, «Association between Air Pollutants and Cardiovascular Disease Mortality in Wuhan, China,» *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 12, pp. 3506-3516, 2015.
- [27] WORLD HEALTH ORGANIZATION, «Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide,» WHO, Bonn, 2003.
- [28] J. Samet, K. Katsouyanni, R. Anderson, R. Atkinson, A. Le Tertre, S. Medina, E. Samoli, G. Touloumi, R. Burnett, D. Krewski, T. Ramsay, F. Dominici, R. Peng, J. Schwartz y A. Zanobetti, «Air Pollution and Health: A European and North American Approach (APHENA),» HEALTH EFFECTS INSTITUTE, Boston, 2009.
- [29] Y. Coppieters, P. Collart, G. Mercier, V. Massamba, C. Bouland y A. Leveque, «Effects of air pollution on the risk of acure myocardial infarction in Charleroi, Belgium,» *Open Journal of Epidemiology*, vol. 3, nº 2, pp. 44-52, 2013.
- [30] F. Ballester, J. M. Tenías y S. Pérez Hoyos, «Air pollution and emergency hospital admissions for cardiovascular diseases in Valencia, Spain,» *J Epidemiol Community Health*, vol. 55, pp. 57-65, 2001.

- [31] X. Song , Y. Liu, Y. Hu, X. Zhao, J. Tian, G. Ding y S. Wang, «Short-Term Exposure to Air Pollution and Cardiac Arrhythmia: A Meta-Analysis and Systematic Review,» *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 13, pp. 1-12, 2016.
- [32] P. H. Ding, G. S. Wang, Y. L. Guo, S. C. Chang y G. H. Wan, «Urban air pollution and meteorological factors affect emergency department visits of elderly patients with chronic obstructive pulmonary disease in Taiwan,» *ELSEVIER*, vol. 224, pp. 751-758, 2016.
- [33] X. Meng, C. Wang, D. Cao, C. M. Wong y H. Kan, «Short-term effect of ambient air pollution on COPD mortality in four Chinese cities,» *ELSEVIER*, vol. 77, pp. 149-154, 2013.
- [34] UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, Documento Marco Proyección Social, Bogotá: Ediciones USTA, 2015.