

ASOCIACIÓN ENTRE EL EFECTO MULTICONTAMINANTE Y LA MORTALIDAD CARDIOPULMONAR EN LA LOCALIDAD DE SAN CRISTÓBAL, BOGOTÁ 2010-2014

ASSOCIATION BETWEEN THE MULTICONTAMINANT EFFECT AND CARDIOPULMONARY MORTALITY IN THE LOCATION OF SAN CRISTÓBAL, BOGOTÁ 2010-2014

Juliana Arandía Rojas¹

¹ Estudiante de la Facultad de Ingeniería Ambiental. Semillero de investigación Salud Ambiental. Universidad Santo Tomás de Bogotá D.C., Colombia.

E-mail: julianaarandia@usantotomas.edu.co

RESUMEN

Objetivo: analizar y cuantificar el riesgo que genera el efecto multicontaminante de contaminantes atmosféricos sobre la mortalidad cardiopulmonar en la localidad de San Cristóbal, Bogotá en el periodo 2010-2014.

Metodología: se realizó un estudio ecológico de series de tiempo en la localidad de San Cristóbal entre 2010-2014, donde se utilizó un modelo estadístico de Poisson. Teniendo en cuenta grupos etarios estratificados de: menores de 1 año, 1 a 5 años, 6 a 14 años, 15 a 64 y mayores de 65 años. Para el modelo de Poisson se utilizaron los datos registrados por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá donde se estimaron los promedios diarios 24 horas y también promedios máximos según el tipo de contaminante (PM_{10} , $PM_{2.5}$, O_3 , CO y SO_2), además de ajustar los modelos por variables meteorológicas como la temperatura, humedad relativa y precipitación. La Secretaria de Salud de Bogotá proporcionó la base de datos de mortalidad por enfermedades cardiopulmonares, respiratorias y cardiovasculares para esta localidad.

Resultados: se observó que el monóxido de carbono (CO) en su máximo horario combinado con el SO_2 en su promedio de 24 horas aumenta el riesgo de mortalidad en la mayoría de patologías estudiadas, siendo estadísticamente significativo. La patología que presentó mayor significancia estadística fue infección respiratoria de las vías aéreas inferiores; para todos los grupos etarios, un incremento de 0.01 ppm de CO en el máximo horario combinado con el SO_2 en su promedio de 24 horas aumenta el riesgo de mortalidad en un 0,77% (IC95%:0,11; 1,44) y por un incremento de 0.01 ppm de CO en el máximo horario combinado con el promedio máximo de 3 horas de SO_2 , aumenta un 0,68% (IC95%: 0,007; 1,37) el riesgo de la mortalidad. Además se observó un incremento de 1,93% (IC95%:0,15; 3,74) del riesgo por un aumento de 0.01 ppm de CO en el máximo horario en el lag 4 y un incremento de 4,68% (IC95%:0,004:9,59) en la mortalidad en el lag 1-5, esto para el grupo etario de menores de 14 años.

Conclusiones: los resultados muestran una evidencia significativa entre la asociación de monóxido de carbono y dióxido de azufre especialmente para la mortalidad respiratoria. En cuanto a esta mortalidad, se observó que el grupo etario de menores de 14 años presenta mayor riesgo de mortalidad respiratoria.

Palabras clave: mortalidad respiratoria, PM₁₀, monóxido de carbono, dióxido de azufre, infección respiratoria de las vías aéreas inferiores.

ABSTRACT

Objective: to analyze and quantify the risk generated by the multi-pollutant effect of atmospheric pollutants on cardiopulmonary mortality in the town of San Cristóbal, Bogotá in the 2010-2014 period.

Methodology: an ecological study of time series was carried out in the town of San Cristóbal between 2010-2014, where a Poisson statistical model was used. Taking into account stratified age groups: under 1 year, 1 to 5 years, 6 to 14 years, 15 to 64 and over 65 years. For the Poisson model, the data recorded by the Bogota Air Quality Monitoring Network were used, where the daily averages were estimated 24 hours and also maximum averages according to the type of pollutant (PM₁₀, PM_{2,5}, O₃, CO and SO₂), in addition to adjusting the models by meteorological variables such as temperature, relative humidity and precipitation. The Secretary of Health of Bogotá provided the mortality database for cardiopulmonary, respiratory and cardiovascular diseases for this locality.

Results: it was observed that carbon monoxide (CO) in its maximum hourly average combined with SO₂ in its maximum average of 24 hours increases the risk of mortality in most of the pathologies studied, being statistically significant. The pathology that presented the greatest statistical significance was respiratory infection of the lower airways; for all age groups, an increase of 0.01 ppm of CO in the maximum hourly average combined with SO₂ in its maximum average of 24 hours increases the risk of mortality by 0.77% (95%CI: 0.11; 1, 44) and by an increase of 0.01 ppm of CO in the maximum hourly average combined with the maximum average of 3 hours of SO₂, increases the risk of mortality by 0.68% (95%CI: 0.007, 1.37). In addition, there was an increase of 1.93% (95%CI: 0,15;3,74) of the risk due to an increase of 0.01 ppm of CO in the maximum hourly average in lag 4 and an increase of 4.68% (95% CI: 0,004;9,59) in mortality in lag 1-5, this for the age group under 14 years of age.

Conclusions: the results show significant evidence between the association of carbon monoxide and sulfur dioxide especially for respiratory mortality. Regarding this mortality, it was observed that the age group of children under 14 years of age presents a higher risk of respiratory mortality.

Key words: respiratory mortality, PM₁₀, carbon monoxide, sulfur dioxide, respiratory infection of the lower airways.

INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el 92% de las personas que viven en ciudades no respiran un aire limpio y se calcula que en 2012 se produjeron 6,5 millones de muertes asociadas a la contaminación del aire [1]. Aunque existen valores máximos permisibles para las concentraciones de los diferentes contaminantes del aire, la mayoría de países con ingresos bajos no cuentan con sistemas o redes de medición de partículas en el aire, lo cual impide y dificulta tener un control de estas y genera un aumento en la morbimortalidad de la población [1].

La causa principal de contaminación atmosférica es el uso desmedido de combustibles fósiles en varias actividades industriales y económicas, además del transporte. De todos los contaminantes que se pueden generar a partir de esto, el material particulado es el de mayor importancia, con repercusión en la salud de la población debido a que su diámetro facilita la absorción en el cuerpo humano, lo cual está asociado con enfermedades agudas y crónicas en el aparato respiratorio [1]. Además de esto se originan otros contaminantes como el dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO) y el ozono (O₃), siendo este último muy común en las áreas urbanas [2].

En cuanto a los efectos de los contaminantes del aire en salud, en los últimos años las enfermedades respiratorias crónicas han aumentado notablemente a nivel mundial debido a factores como el alto porcentaje de personas que consumen tabaco, la contaminación del aire y a la exposición a sustancias químicas [1]. Se tiene estimado que cientos de millones de personas sufren cada día las consecuencias de una enfermedad respiratoria crónica (ERC). Según estimaciones recientes de la OMS (2004), actualmente hay unos 235 millones de personas que padecen asma, 64 millones que sufren enfermedad pulmonar obstructiva y muchos millones de personas más que sufren rinitis alérgica y otras ERC que a menudo no llegan a diagnosticarse [1].

La mayor parte de las muertes por factores medioambientales se da por enfermedades no transmisibles, lo cual está directamente relacionado a las condiciones socioeconómicas que rodean al individuo, así es como estudios epidemiológicos resaltan que los ingresos hospitalarios están relacionados con enfermedades e infecciones respiratorias, por ejemplo según un estudio en la ciudad de Madrid, España se encontró que un incremento de 10 µg/m³ genera un riesgo relativo (RR) de 1,03 (intervalo de confianza [IC95%]: 1,00-1,05) para el grupo de menores de 10 años y de 1,03 (IC95%: 1,00-1,06) para menores de un año. Los riesgos atribuibles fueron del 2,7 y el 2,8%, respectivamente [5]. Adicionalmente en un estudio que se realizó en Bogotá, se encontró que por un incremento de 10 µg/m³ aumenta el riesgo 1,22% para la mortalidad respiratoria en todas las edades [6]. En la ciudad de Medellín se encontró que los niños menores a 6 años, aumentan su riesgo de sufrir infecciones respiratorias o crisis asmáticas en un 49,3% [7].

En Colombia, según el reporte sobre los costos por muertes y enfermedades asociadas a la degradación ambiental, actualizado para el año 2015 por parte del Departamento Nacional de Planeación, la contaminación del aire aporta alrededor de 10.527 muertes y 67,8 millones de síntomas y enfermedades respiratorias [3]. Bogotá aporta el 10,5%, que representan 3.219 del total de las muertes en la ciudad, atribuidas a la contaminación del aire urbano, mientras

que el Área Metropolitana del Valle de Aburrá aporta el 12,3% es decir, 2.105 del total de las muertes que se presentan en esta zona del país [3].

A partir de los registros de las concentraciones de contaminantes realizados por la Red de Monitoreo de Calidad del aire de Bogotá, se sabe con exactitud que el PM₁₀ es el contaminante que con mayor frecuencia supera la norma de calidad del aire, seguido por el ozono; estos contaminantes no han tendido a reducirse en la última década, todo ello debido al crecimiento industrial [2]. Para la ciudad de Bogotá se ha demostrado que los vehículos que tienen motor diésel, que son aproximadamente 50.000, contribuyen en un 90% de las emisiones presentes de material particulado y el otro 10% se le atribuye a motocicletas [2]. Además los vehículos con motor a gasolina contribuyen con cerca de 50% de las emisiones de monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles, y 40% de óxidos de nitrógeno [2].

La localidad de San Cristóbal presenta diferentes puntos críticos de contaminación atmosférica en su mayoría de PM₁₀, donde se han registrado concentraciones dentro de un rango de 60 y 90 µg/m³, ubicando la zona con exposición elevada de contaminación. Las Unidades de Planeación Zonal (UPZ) San Blas y La Gloria son las más afectadas ya que cuentan con la presencia de ladrilleras, apilamientos de cementos y arenas de construcción, sumándole a todo ello el paso continuo de todo tipo de tráfico por la Carrera Décima, la calle 11 sur y la Avenida Villavicencio [4].

Por otra parte, en la localidad de San Cristóbal, las infecciones respiratorias bajas son las más comunes como el Virus Sincitial Respiratorio y el Virus de la Influenza. Durante un estudio realizado en el mes de noviembre en el año 2014, se tuvo un ingreso de 241 casos de ERA (enfermedades respiratorias agudas) en menores de 5 años, siendo este grupo etario el más vulnerable [4].

El objetivo del presente estudio fue analizar y cuantificar el riesgo que genera el efecto multicontaminante de contaminantes atmosféricos sobre la mortalidad cardiopulmonar en la localidad de San Cristóbal en la ciudad de Bogotá en el periodo comprendido entre 2010-2014.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La localidad de San Cristóbal se ubica al sur oriente de la ciudad de Bogotá, limita al norte con la localidad de Santa Fe; al sur con la localidad de Usme; al oriente con el municipio de Ubaque y al occidente con las localidades de Rafael Uribe Uribe y Antonio Nariño [8]. San Cristóbal está localizada en la cordillera Oriental de los Andes, sobre un altiplano de 2.600 metros sobre el nivel del mar (msnm), rodeado por cadenas montañosas que superan los 3.500 msnm; la localidad se extiende sobre las montañas del eje principal de la cordillera, contra los cerros del páramo Cruz Verde [8].

Figura 1. Ubicación localidad de San Cristóbal



Fuente: Mapas Interactivos Bogotá

1.2. TIPO DE ESTUDIO

Se realizó un estudio ecológico de series de tiempo en la localidad de San Cristóbal entre 2010-2014, donde se utilizó un modelo de Poisson, teniendo en cuenta grupos etarios estratificados de: menores de 1 año, 1 a 5 años, 6 a 14 años, 15 a 64 y mayores de 65 años.

1.3. ANALISIS DE LA TENDENCIA TEMPORAL DE LOS CONTAMINANTES

Para el análisis de la tendencia temporal de los contaminantes criterio se usaron las bases de datos registradas por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RM CAB) de la estación de San Cristóbal, localizada en las coordenadas 4°34'21.19"N y 74°5'1.73"W, siendo de tipo de zona urbana y con una altitud de 2688 m, ubicada en la dirección Carrera 2 Este # 12-78 sur. La estación es de tipo de fondo, lo cual quiere decir que el nivel de contaminante medido no se ve influenciado directamente por fuentes o calles, pero si por la contribución de las fuentes que influyen debido a la dirección y/o régimen de los vientos. [9].

Con los datos registrados en la estación se estimaron los promedios diarios 24h, promedio máximo 8 horas y máximos horarios según el contaminante (PM_{10} , $PM_{2.5}$, O_3 , CO y SO_2), para el periodo comprendido entre 2010-2014. Además del promedio de cada uno de los contaminantes, también se analizaron las variables meteorológicas temperatura, humedad relativa y precipitación, ya que se considera que intervienen significativamente en el flujo y dispersión de los contaminantes, como en la estimación del impacto en la salud [9,10].

1.1. DATOS DE MORTALIDAD

La Secretaria de Salud de Bogotá proporcionó la base de datos de la mortalidad por todas las causas donde se seleccionaron las enfermedades cardiopulmonares para la localidad de San Cristóbal entre los años 2010-2014, donde la mortalidad fue clasificada por grupos etarios. Los diagnósticos utilizados por enfermedad se clasificaron mediante la Clasificación Internacional de Enfermedades en su décima versión (Tabla 1).

Tabla 1. Enfermedades seleccionadas por clasificación CIE-10

Código CIE	Enfermedad
I200-I209	Angina de pecho (ANG)
I210-I219	Infarto del miocardio (IM)
I240-I249	Enfermedades isquémicas agudas del corazón (EIAC)
I440-I459 , I470-I509	Disrimias (DR)
I600-I629, I640-I699	Cerebrovascular (CERVAS)
I630-I639	Infarto cerebral (STROKE)
J000-J069	Infecciones agudas de las vías respiratorias superiores (IAVAS)
J100-J119	Influenza (INFLU)
J120-J189	Neumonías (NEUMO)
J200-J229	Bronquitis Bronquiolitis (BRONQ)
J400-J449	Enfermedades pulmonares obstructivas crónicas (EPOC)
J450-J469	Asma (ASMA)

Fuente: Clasificación Estadística Internacional de Enfermedades en su décima versión (CIE)

1.2. ANÁLISIS ESTADISTICO Y TABULACION DE DATOS

Al inicio del estudio se contaba con una base de contaminantes en el periodo de 2008-2014, a la cual se le realizó un análisis exploratorio que permitió identificar la calidad de los datos disponibles por año, siendo así el año 2008 y 2009 poco relevantes para el estudio, por lo que se seleccionó el periodo de 2010-2014. Utilizando el software IBM SPSS se estimaron los estadísticos de desviación estándar, rango intercuartilico, media, máximo, mínimo para cada uno de los contaminantes, para cada uno de los años evaluados; se tuvo en cuenta un nivel de confianza del 95%. Luego se realizó una matriz, en donde se incluyó cada uno de los contaminantes con su respectivo rango intercuartilico hallado anteriormente, que sería utilizado para el cálculo del porcentaje de cambio del riesgo por la exposición al contaminante [11].

1.3. MODELO POISSON

Por medio del software STATA 11 se utilizaron modelos de regresión de Poisson condicionales con efectos mixtos y efectos fijos para el tiempo y el nivel de contaminantes [11]. Dichos modelos se ajustaron por factores meteorológicos como día lluvioso o seco, temperatura y humedad relativa promedio diaria. Se estimó para los mayores de 65 años y todas las edades el cambio en el porcentaje del riesgo por un cambio en la concentración de los contaminantes medidos en la localidad para las enfermedades cardiopulmonares,

cardiovasculares y respiratorias, además de las enfermedades específicas citadas en la tabla 1. Seguidamente se estimaron los cambios en el riesgo con retrasos de hasta 5 días (lag 0 – lag 5) los cuales permitieron evaluar detalladamente el efecto de la contaminación del aire en la salud [11].

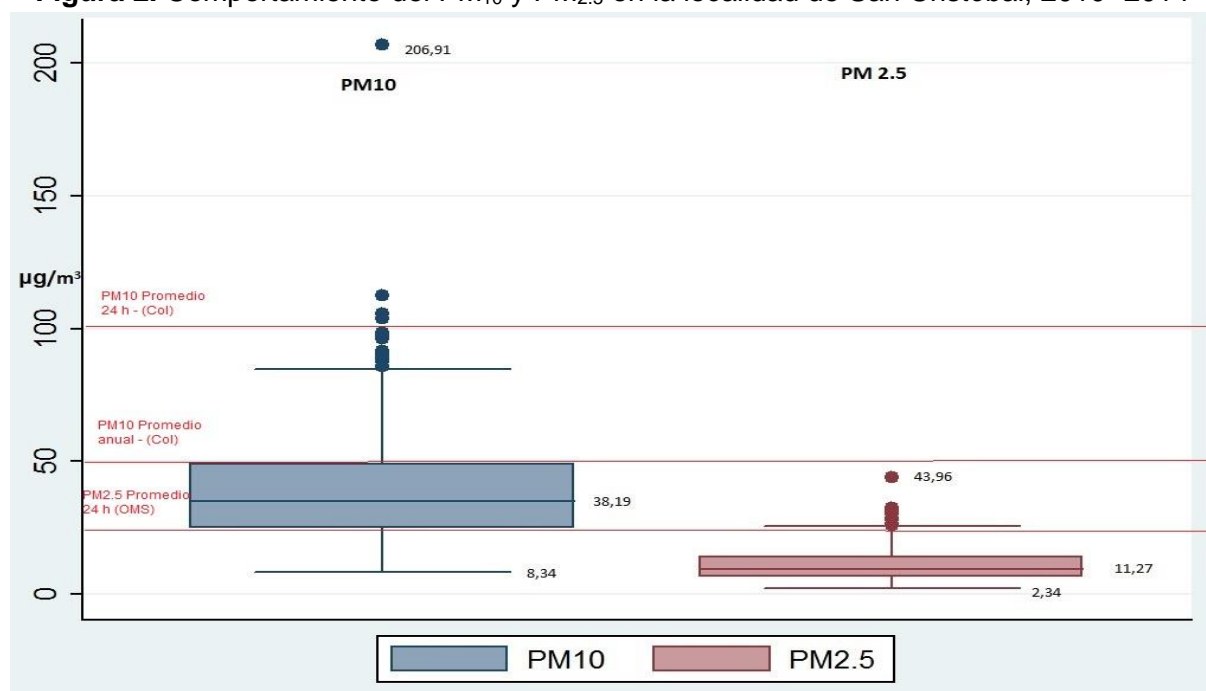
Se utilizó el criterio de información Akaike (AIC), que permite seleccionar un modelo estadístico que proporcione calidad a un conjunto de datos específico; también se tuvo en cuenta el criterio de información Bayesiano (BIC), el cual se basa en función de la probabilidad y se relaciona directamente con el (AIC). Estos dos criterios de información determinaron el ajuste o capacidad predictiva de los modelos que se utilizaron [12]. Para las combinaciones de los distintos contaminantes se tuvo en cuenta la correlación de Pearson con el factor de inflación de la varianza (VIF).

2. RESULTADOS

CONCENTRACIONES PROMEDIO DE CADA UNO DE LOS CONTAMINANTES

Con el análisis estadístico de los contaminantes criterio, se evidenció que la media diaria de PM_{10} fue $38,19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y para el $PM_{2.5}$ una media diaria de $11,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$, estableciendo que para el PM_{10} la media sobrepasa el valor anual establecido por la Organización Mundial de la Salud de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pero no supera el límite anual permisible de la normatividad colombiana, de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 2). Para $PM_{2.5}$ la media diaria, excede el valor anual establecido por la OMS ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$), pero no el límite permisible establecido en la normatividad colombiana ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En cuanto al valor diario de PM_{10} y $PM_{2.5}$, ambos cumplen con la normatividad de la OMS y la normatividad colombiana (Resolución 610 de 2010).

Figura 2. Comportamiento del PM_{10} y $PM_{2.5}$ en la localidad de San Cristóbal, 2010 -2014

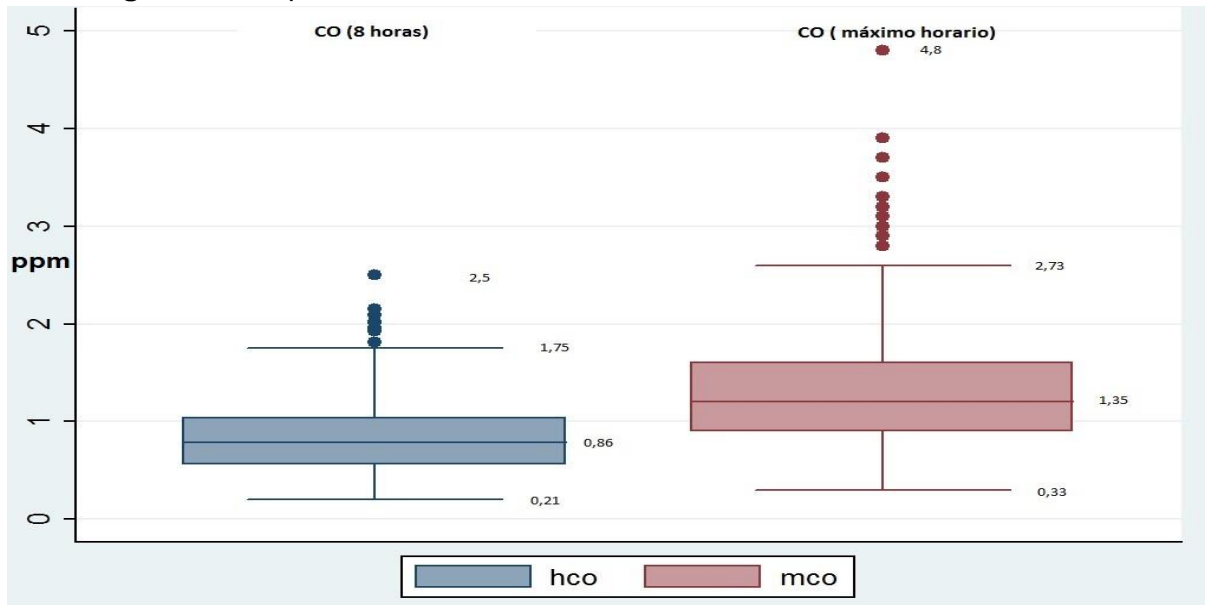


Fuente: El autor

Para el Monóxido de Carbono (CO) promedio máximo de 8 horas, la OMS establece que no se debe superar un valor de 8.8 ppm, al igual que en la legislación colombiana (8 ppm -

resolución 610 de 2010); al evidenciar el comportamiento de este contaminante se puede deducir que cumple con los límites permisibles, ya que su valor máximo fue de 2,5 ppm y registra una media de 0,86 ppm. El CO máximo horario cuenta con una media de 1,35 ppm y un máximo de 4,8 ppm, presentando valores que cumplen el valor guía de la OMS (26 ppm) y la legislación colombiana (35 ppm- resolución 610 de 2010) (Figura 3).

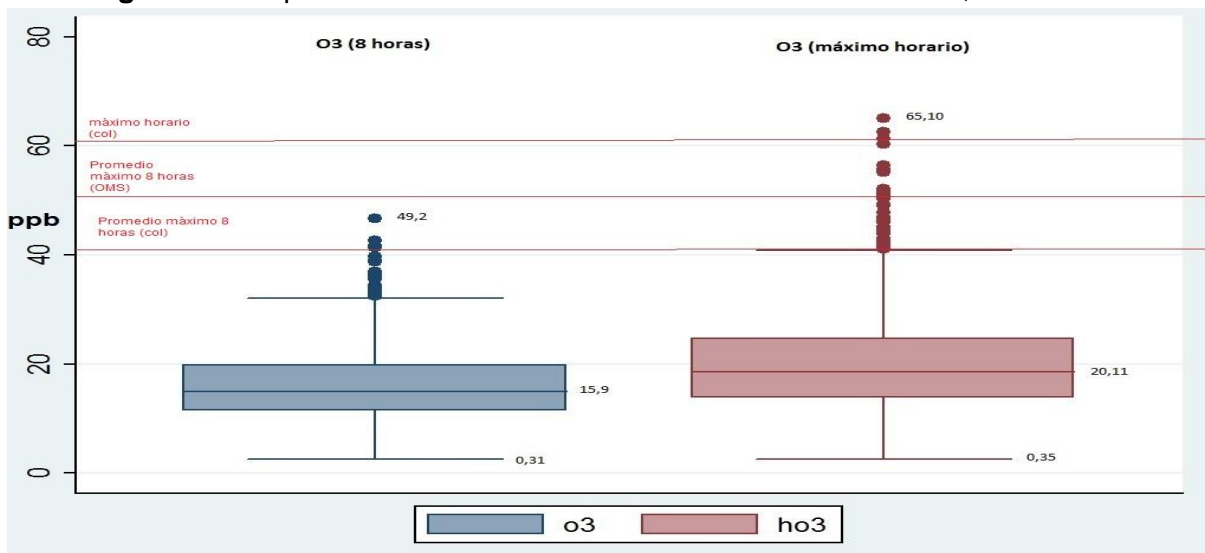
Figura 3. Comportamiento de CO en la localidad de San Cristóbal, 2010 -2014



Fuente: El autor

En cuanto al ozono (O_3) en su promedio máximo de 8 horas la resolución 610 de 2010 establece un límite permisible de 41 ppb, por lo tanto este contaminante no cumple con esta norma porque presenta un valor máximo de 49,2 ppb, sin embargo no supera el valor permisible establecido por la OMS (51 ppb). Para el máximo horario del O_3 , se tiene un límite de 61 ppb, establecido por la legislación colombiana, el cual excede la norma ya que se registró un valor máximo de 65,10 ppb (Figura 4).

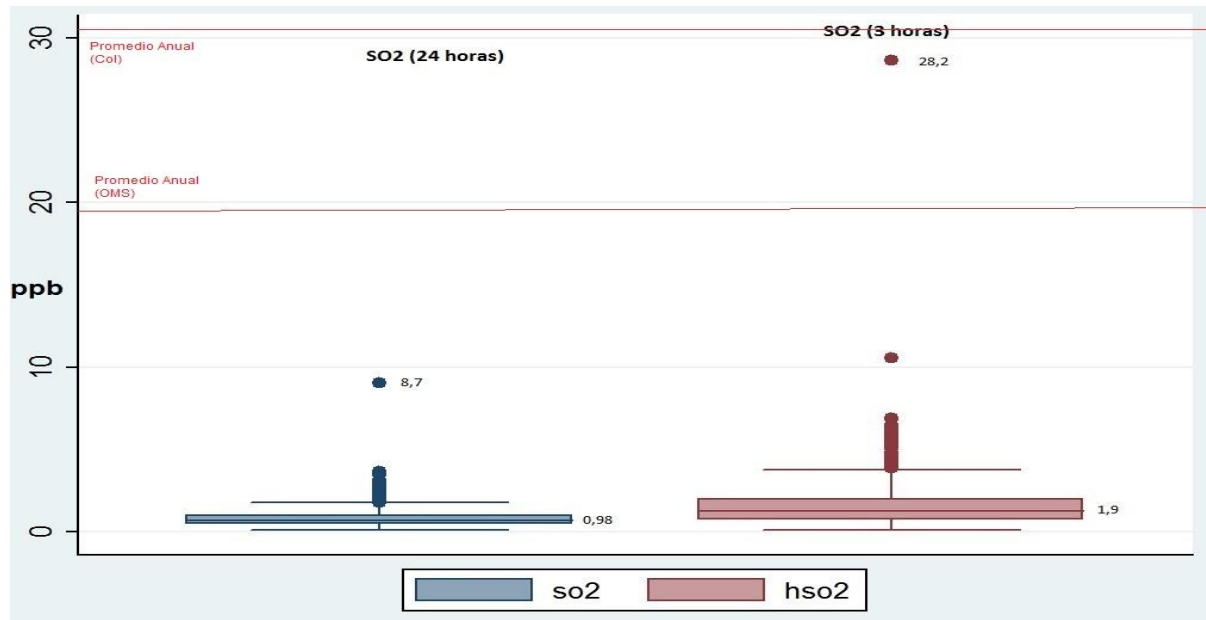
Figura 4. Comportamiento Ozono en la localidad de San Cristóbal, 2010 -2014



Fuente: El autor

Para el Dióxido de Azufre (SO₂) promedio 24 horas, se tiene una media de 0,98 ppb y un valor máximo de 8,7 ppb, siendo concentraciones permisibles porque no superan el valor guía de la OMS (48 ppb) y la legislación colombiana (96 ppb- resolución 610 de 2010). Para el promedio máximo de 3 horas, el valor máximo fue de 28,2 ppb cumpliendo la norma colombiana (287 ppb). (Figura 5).

Figura 5. Comportamiento de SO₂ en la localidad de San Cristóbal, 2010 -2014



Fuente: El autor

COMPORTAMIENTO DE LA MORTALIDAD

Durante el periodo de estudio se registraron un total de 4.230 muertes por todas las causas, donde el 50% (n=2.115) correspondió a causas cardiopulmonares, de las cuales el 75,7% (n=1.602) ocurrió en el grupo de mayores de 65 años. Del total de la muertes cardiopulmonares el 62,5% (n=1.322) fueron por enfermedades cardiovasculares, de las cuales el 75,8% (n=1003) ocurrió en los mayores de 65 años; las muertes por enfermedades respiratorias representaron el 37,4% (n=793), el 75,5% (n=599) fueron en la población mayor de 65 años.

De las muertes cardiovasculares el 41,5% (n=549) ocurrió por enfermedades agudas del miocardio, donde un 75,6% (n=415) se presentó en las personas mayores de 65 años; las disritmias representaron un 34,1% (n=452), del cual el 83,6% (n=378) se presentó en el grupo etario de mayores de 65 años. Las enfermedades cerebrovasculares representaron un 24,3% (n=321), donde el 65,4% (n=210) se presentó en las personas mayores de 65 años.

Para las defunciones por causa respiratoria, del total el 59% (n=468) ocurrió por infecciones respiratorias de las vías inferiores, donde el 66,2% (n=310) se observó en el grupo de mayores de 65 años, mientras que las enfermedades pulmonares obstructivas crónicas representaron el 40,7% (n=323), de las cuales el 89,2% (n=288) se registró en los mayores de 65 años (Tabla 2).

Tabla 2. Comportamiento de la mortalidad Localidad San Cristóbal, 2010 – 2014

Mortalidad	Defunciones	Media	D.E	Mínimo	Máximo
CP Total	2115	1,19	1,10	0	6
CP > 65 años	1602	0,91	0,97	0	6
CV Total	1322	0,74	0,85	0	5
CV > 65 años	1003	0,57	0,75	0	5
RP Total	793	0,44	0,68	0	4
RP > 65 años	599	0,33	0,59	0	4
IAM Total	549	0,29	0,54	0	4
IAM > 65 años	415	0,23	0,47	0	4
DR Total	452	0,25	0,50	0	3
DR > 65 años	378	0,22	0,47	0	3
CRB Total	321	0,18	0,43	0	3
CRB > 65 años	210	0,12	0,35	0	3
LRI Total	468	0,27	0,52	0	4
LRI > 65 años	310	0,18	0,43	0	4
EPOC Total	323	0,17	0,41	0	2
EPOC > 65 años	288	0,15	0,38	0	2

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

Fuente: Autor

RELACIÓN ENTRE LOS CONTAMINANTES Y LA MORTALIDAD CARDIOPULMONAR, CARDIOVASCULAR Y RESPIRATORIA

Algunos de los resultados obtenidos fueron estadísticamente significativos para la mortalidad cardiopulmonar, cardiovascular y respiratoria en todos los grupos etarios principalmente con el monóxido de carbono (CO) en su máximo horario y su promedio máximo de 8 horas, cuando este es combinado con el promedio 24 horas y promedio máximo de 3 horas de Dióxido de azufre (SO₂).

Mortalidad Cardiopulmonar

Para la variable PM₁₀ se observó que para todas las edades hubo un incremento de 10 µg/m³ en el promedio máximo de 24 horas, dicho incremento, aumenta el riesgo de mortalidad en un 3% (IC95%:-4,07; 11,1) cuando se combina con el promedio 24 horas de SO₂.

Se encontró que para todas las edades, por un incremento de 0.01 ppm de CO en el máximo horario combinado con el SO₂ en su promedio 24 horas aumenta el riesgo de mortalidad en un 0,35% (IC95%:0,10; 0,60) y por un incremento de 0.01 ppm de CO en el máximo horario

combinado con el promedio máximo de 3 horas de SO₂, aumenta un 0,33% (IC95%: 0,08; 0,59) la mortalidad por esta enfermedad, siendo estos estimadores estadísticamente significativos.

Para el grupo de mayores de 65 años, el comportamiento de los contaminantes es similar, siendo el monóxido de carbono combinado con el dióxido de azufre la combinación que evidencia significancia estadística; por lo tanto un incremento de 0.01 ppm de CO en el máximo horario combinado con el SO₂ en su promedio 24 horas aumenta el riesgo de mortalidad en un 0,41% (IC95%:0,14; 0,69) y por un incremento de 0.01 ppm de CO en el máximo horario combinado con el promedio máximo de 3 horas de SO₂, aumenta un 0,41% (IC95%: 0,12; 0,69) la mortalidad por esta enfermedad (Figura 6A)

Mortalidad Cardiovascular

Por un incremento 10 µg/m³ en el promedio 24 horas de PM₁₀ cuando es combinado con el promedio máximo de 3 horas de SO₂, el riesgo de mortalidad aumenta 7,2% (IC95%:-3,23; 18,88) y para el máximo horario de ozono combinado con el promedio máximo de 3 horas de SO₂ aumenta 7,1% (IC95%:-1,66;16,85) el riesgo de mortalidad por este tipo de enfermedad, esto para los mayores de 65 años.

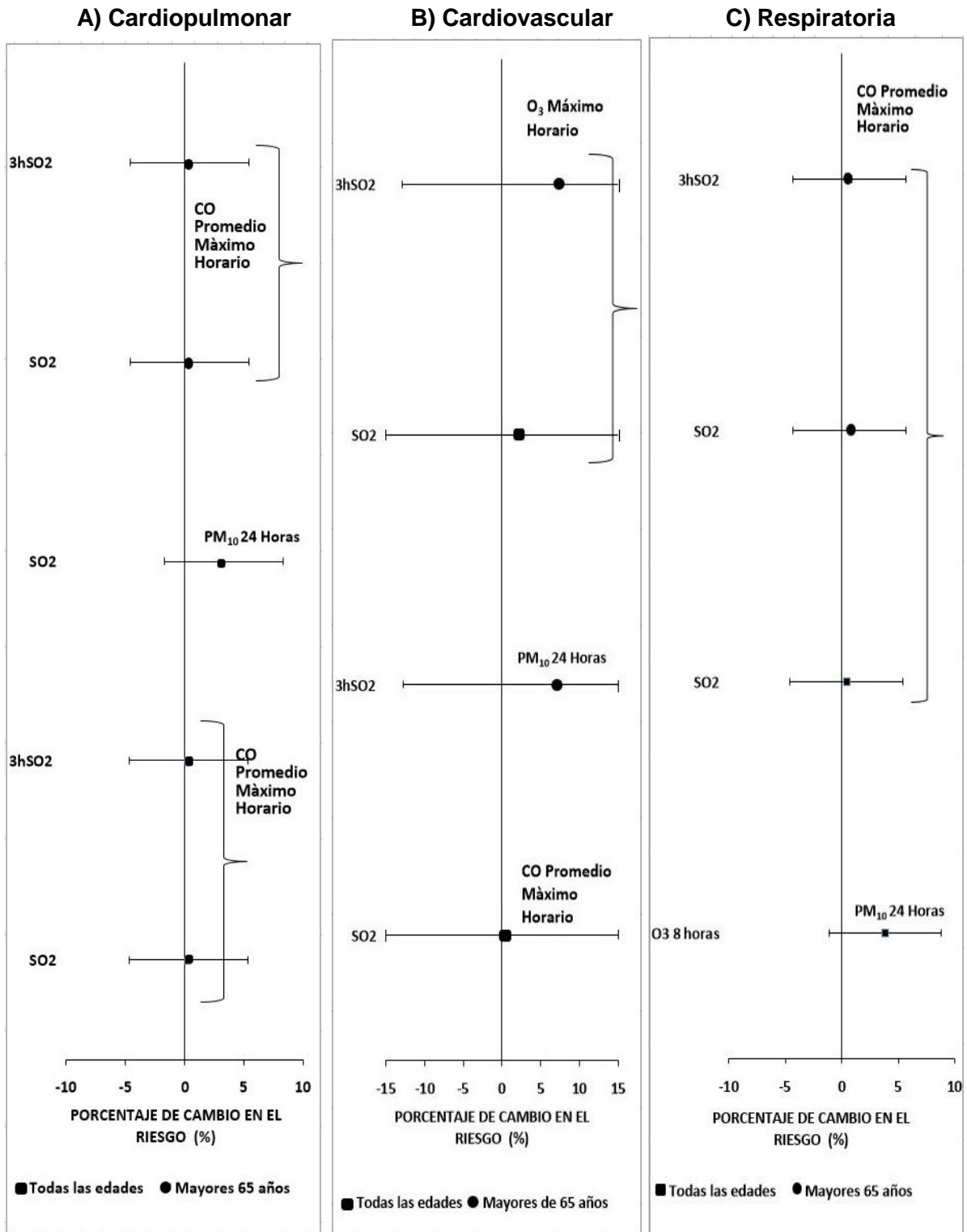
Se evidencia que para todas las edades, por un incremento de 0.01 ppm de CO en el máximo horario combinado con el SO₂ en su promedio de 24 horas aumenta el riesgo de mortalidad en un 0,30% (IC95%:0,02; 0,61) y por un incremento de 5 ppb O₃ en el máximo horario cuando es combinado con el promedio de 24 de SO₂, aumenta un 2,2% (IC95%: -5,50; 10,7) la mortalidad por este tipo de enfermedad (Figura 6B).

Mortalidad Respiratoria

Se observó que en todos los grupos etarios, por un incremento de 10 µg/m³ en el promedio 24 horas de PM₁₀ combinado con el promedio máximo de 8 horas de ozono, aumenta el riesgo de mortalidad en un 3,8% (IC95%:-3,44; 11,6). A su vez por un incremento de 0.01 ppm de CO en el máximo horario combinado con el SO₂ en promedio 24 horas aumenta el riesgo de mortalidad en un 0,42% (IC95%:-0,009; 0,86).

Para el grupo de mayores de 65 años, un incremento de 0.01 ppm de CO en el máximo horario combinado con el SO₂ en su promedio de 24 horas aumenta el riesgo de mortalidad en un 0,65% (IC95%:0,15; 1,15) y por un incremento de 0.01 ppm de CO en el máximo horario combinado con el promedio máximo de 3 horas de SO₂, aumenta un 0,63% (IC95%: 0,13; 1,14) la mortalidad por esta enfermedad (Figura 6C).

Figura 6. Porcentaje de cambio en el riesgo en la mortalidad cardiopulmonar, cardiovascular y respiratoria



Fuente: El autor

MORTALIDAD POR ENFERMEDADES ESPECÍFICAS

Infarto agudo de miocardio (IAM)

Para todas las edades, un incremento de 0.01 ppm de CO en el máximo horario combinado con el SO₂ en su promedio de 24 horas aumenta el riesgo de mortalidad en un 0,58% (IC 95%:0,01; 1,15) y por un incremento de 0.01 ppm de CO en el máximo horario combinado con el promedio máximo de 3 horas de SO₂, aumenta un 0,65% (IC95%: 0,04; 1,27) la mortalidad por IAM (Tabla 3).

Tabla 3. Porcentaje de cambio en el riesgo por mortalidad IAM en todas las edades, en la Localidad San Cristóbal, 2010 - 2014

Grupo de Edad	Contaminante	Lag o combinación con contaminante	RR	D.E	ICI	ICS	%CR
Todas	COmax	SO ₂	1,0058	0,0028932	1,000162	1,011504	0,5817
Todas	COmax	3hSO ₂	1,0066	0,0031418	1,000431	1,012747	0,657

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

Infeción Respiratoria de las Vías Aéreas Inferiores (IRVAI)

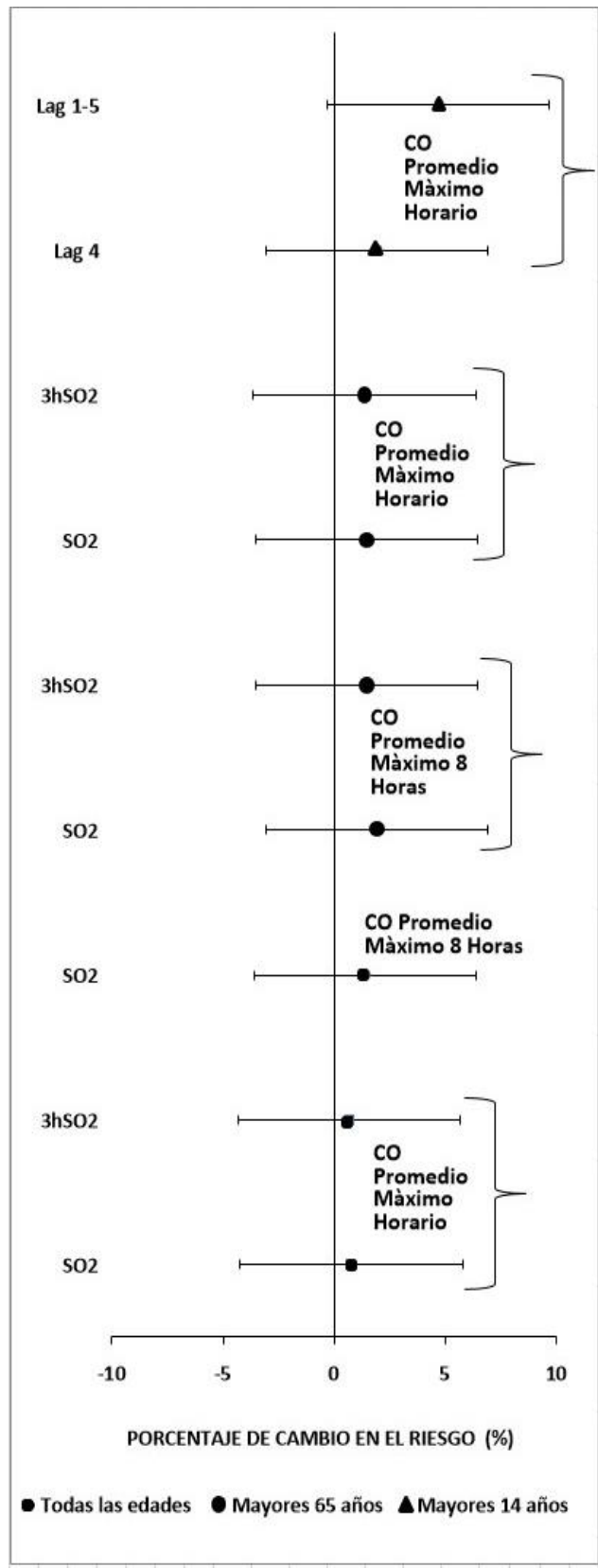
Para todos los grupos etarios, un incremento de 0.01 ppm de CO en el máximo horario combinado con el SO₂ en su promedio de 24 horas aumenta el riesgo de mortalidad en un 0,77% (IC95%:0,11; 1,44) y por un incremento de 0.01 ppm de CO en el máximo horario combinado con el promedio máximo de 3 horas de SO₂, aumenta un 0,68% (IC95%: 0,007; 1,37) el riesgo de la mortalidad.

Al realizar las mismas combinaciones pero en el grupo de mayores de 65 años se observó que el incremento de 0.01 ppm de CO en el máximo horario combinado con el SO₂ en su promedio de 24 horas aumenta el riesgo de mortalidad en un 1,49% (IC95%:0,63; 2,35) y por un incremento de 0.01 ppm de CO en el máximo horario combinado con el promedio máximo de 3 horas de SO₂, se encontró un riesgo de 1,37% (IC95%: 0,52; 2,22).

Para el promedio máximo de 8 horas de CO para todas las edades, se evidencia un riesgo de mortalidad de 1,3% (IC95%:0,21; 2,57). Además se observó un incremento de 1,93% (IC95%:0,15; 3,74) del riesgo por un aumento de 0.01 ppm de CO en el máximo horario en el lag 4 y un incremento de 4,68% (IC95%:0,004;9,59) en la mortalidad en el lag 1-5, esto para el grupo etario de menores de 14 años.

En cuanto a los mayores de 65 años, un incremento de 0.01 ppm de CO en el promedio máximo 8 horas combinado con el SO₂ en su promedio de 24 horas aumenta el riesgo de mortalidad en un 1,92% (IC 95%:0,54; 3,32) y por un incremento de 0.01 ppm de CO en el promedio máximo 8 horas cuando se combina con el promedio máximo de 3 horas de SO₂, aumenta un 1,46% (IC95%: 0,19; 2,74) el riesgo de mortalidad por IRVAI (Figura 7).

Figura 7. Porcentaje de cambio en el riesgo en la mortalidad por Infección Respiratoria de las Vías Aéreas Inferiores, asociada a CO y su combinación con SO₂



Fuente: El autor

3. DISCUSIÓN

El presente estudio sirvió como insumo para evaluar la asociación entre la mortalidad cardiopulmonar en relación con los contaminantes criterio del aire, en la localidad de San Cristóbal, Bogotá. El grupo etario de mayores de 65 años, presentó un comportamiento más notable en relación al porcentaje de riesgo que este tiene frente a la mortalidad en cuanto a enfermedades cardiovasculares.

Según Liang et al, en Taiwan el riesgo de muerte por todas las causas y la mortalidad por enfermedades cardiovasculares durante el invierno se correlacionó positivamente de forma significativa con los niveles de SO₂, CO y NO₂ para los mayores de 65 años y para todos los grupos etarios, se evidenciaron correlaciones positivas significativas con las enfermedades respiratorias y los niveles de O₃ para ambos grupos. Sin embargo, la única correlación positiva significativa fue con O₃ (RR = 1.283) para el grupo de ancianos durante el verano; esto valida los hallazgos del presente estudio donde por un incremento de 5 ppb O₃ en el máximo horario cuando es combinado con el promedio máximo de 24 de SO₂, aumenta un 2,2% (IC95%: -5,50; 10,7) la mortalidad por este tipo de enfermedad en el invierno [13].

A nivel mundial se han encontrado resultados similares a los evidenciados en este estudio; en cuanto a los ingresos por enfermedades cardiovasculares producidas por las altas concentraciones de contaminantes criterio Yuxia et al, encontraron que el RR para las personas mayores de 65 años es mayor que para el grupo etario de menores de 15 años, donde el RR de mayores de 65 años fue de 1,03% (IC95%:1,00; 1,04), 1,01% (IC95%:1,00; 1,03), y 1,03% (IC95%:1,02;1,05) de PM₁₀, SO₂ y NO₂ respectivamente [14]. En otro estudio, Shahi et al, encontraron que el nivel de monóxido de carbono fue un factor de riesgo independiente de enfermedad cardiovascular en el día 0, con un aumento en el riesgo de 1,49% (IC95%: 1,25; 1,77) y en el lag 1 el riesgo fue de 1,22% (IC95%: 1,02; 1,45) [15].

En un estudio realizado en varias ciudades de China, Liu et al mostraron que los contaminantes del aire como PM₁₀, SO₂, NO₂, CO se asociaron con un aumento de 0,8%, 2,0%, 2,2% y 1,1% en las admisiones de IAM, respectivamente, el segundo día después de la exposición, mientras que O₃ mostró una asociación positiva en el día 4, con un riesgo de 1,3%; el presente estudio encontró un aumento de 0,58% cuando el CO en su máximo horario se combina con el SO₂ en su promedio de 24 horas y el CO en el máximo horario combinado con el promedio máximo de 3 horas de SO₂, aumenta un 0,65% el riesgo de mortalidad por IAM. Liu et al encontraron que la exposición a contaminación del aire provoca estrés oxidativo, inflamación sistémica y desequilibrio del sistema nervioso autónomo que posteriormente inducen disfunción endotelial y vasoconstricción que lleva a un aumento de la presión arterial [16].

De otra forma el estudio realizado por Sanidas et al, en 21 ciudades de Estados Unidos evidenció que durante la última década, el riesgo de ingresos de emergencia por infarto de miocardio se elevó en 0.7% por aumento de 10 µg/m³ en los niveles ambientales de PM₁₀ entre residentes mayores de 65 años y los aumentos de PM y el humo negro; que contiene partículas de monóxido de carbono, dióxido de carbono (CO₂), dióxido de azufre o anhídrido sulfuroso, óxidos de nitrógeno, compuestos de plomo e hidrocarburos aromáticos, se correlacionaron con aumentos de 0.8% y 0.6% en muertes respiratorias y cardiovasculares, respectivamente, lo que indica su papel como predictores de muertes diarias [17].

En el presente estudio se observó que en la mortalidad respiratoria para todos los grupos etarios, por un incremento de 0.01 ppm de CO en el máximo horario combinado con el SO₂ en su promedio de 24 horas aumenta el riesgo de mortalidad en un 0,42% y Ancona et al, hallaron que la exposición a dióxido de azufre (SO₂) incrementa las admisiones hospitalarias por patologías respiratorias porque aumenta en 4,99% el riesgo de mortalidad. Por otro lado en este mismo estudio se observó que de un 100% de muertes durante el periodo

comprendido entre octubre de 2001 y diciembre de 2010, el 38,1% fue por enfermedades cardiovasculares y 6,5% por enfermedades respiratorias [18].

Para la mortalidad de eventos específicos como la Infección Respiratoria de las Vías Aéreas Inferiores (IRVAI), en este estudio se evidenció que la combinación de CO máximo horario con SO₂ promedio de 24 horas aumenta el riesgo de mortalidad en un 0,77%, valor que aporta peso al estudio que realizaron García et al, donde encontraron una significancia estadística ($p=0,008$) para concentraciones altas de SO₂, las cuales causan ingresos hospitalarios por patologías relacionadas con infecciones en los bronquios [19]. Además el presente estudio estimó un incremento de 1,93% (IC95%:0,15; 3,74) en el riesgo por un aumento de 0.01 ppm de CO en el máximo horario en el lag 4 y un incremento de 4,68% (IC95%:0,004;9,59) en la mortalidad en el lag 1-5, esto para el grupo etario de menores de 14 años que residen en la localidad de San Cristóbal, lo cual está relacionado directamente con la vulnerabilidad que tienen los niños para contraer infecciones puesto que tienen un tracto respiratorio más permeable, que desencadena problemas en el crecimiento de los pulmones, adicionalmente los niños respiran más rápido que los adultos provocando que el aire que entra al cuerpo tenga un mayor contacto con el torrente sanguíneo y que el ingreso de contaminantes sea mayor [20].

En un estudio transversal con niños de 10 años, las altas concentraciones de PM₁₀ y dióxido de carbono (CO₂) se relacionaron con síntomas como tos seca, sibilancias y rinitis en 654 niños y rinitis acústica en 193 niños [21]. A lo anterior, se le suma que niños que estuvieron expuestos a CO y CO₂ presentaban un alto riesgo de tos seca y rinitis, con un 6,3% de riesgo por infección de vías respiratorias inferiores [22], esto se sustenta con el estudio de Carbajal et al, donde se encontró un riesgo de 1,9% (IC95%: 1,40; 2,60) de contraer asma y un riesgo de 1,4% (IC95%: 1,20; 1,70) para episodios de sibilancias, en niños que viven o estudian cerca de vías de alto flujo vehicular [23].

Teniendo en cuenta que el diseño utilizado en este estudio se ha implementado en otras localidades de Bogotá, al comparar con los resultados obtenidos en la localidad de Fontibón, se observa que la dinámica del efecto multicontaminante para ambas es similar, aunque para esta última fue mayor el efecto, puesto que en Fontibón el riesgo de mortalidad por patología cardiopulmonar fue de 0,65% para todas las edades cuando se combina CO en su promedio máximo horario de 8 horas y SO₂ en su promedio de 24 horas; para los mayores de 65 años se encontró un riesgo de 0,75% con la misma combinación de contaminantes; en San Cristóbal los riesgos fueron 0,35% y 0,41% respectivamente [24]. Estos riesgos son atribuidos a la concentración de industrias y tráfico pesado que se encuentra en ambas localidades.

Para la mortalidad cardiovascular, se encontraron riesgos similares en otras localidades, en Fontibón para la combinación de CO máximo horario con SO₂ en su promedio de 24 horas, se presentó un riesgo de 0,29% aproximándose al del presente estudio (San Cristóbal 0,30%). Para Kennedy el riesgo fue de 8,9% cuando el PM₁₀ se combina con el promedio máximo de 3 horas de SO₂, mientras en la localidad de Tunjuelito esta misma combinación tuvo un riesgo de 1,5% y en este estudio el riesgo fue de 7,2% [25]. Por lo tanto, se puede deducir que las localidades de Fontibón y Kennedy tienen un flujo de contaminantes similares al de la localidad de San Cristóbal; y que la localidad de Tunjuelito no presenta un riesgo semejante al de estas 3 localidades, ya que su área urbana no cuenta con una cantidad considerable de industrias que aporten altas concentraciones de contaminantes criterio.

Este estudio evidenció una asociación efectiva entre los contaminantes criterio y la mortalidad por patologías respiratorias, cardiovasculares y cardiopulmonares, obteniendo así valores estadísticamente significativos para estas tres. Cabe resaltar que el riesgo de mortalidad más representativo fue en la patología IRVAI ya que presentó un comportamiento estadísticamente significativo para todas las edades y específicamente para los menores de 14 años y mayores de 65 años; los contaminantes que causan mayor efecto en la mortalidad

cardiopulmonar, cardiovascular y respiratoria en la localidad de San Cristóbal son el monóxido de carbono en su máximo horario y en su promedio de 8 horas, cuando este es combinado con dióxido de azufre en su promedio de 24 horas o en el de 3 horas.

Dentro de las limitaciones del estudio, esta: 1. La localidad solo tiene una estación de monitoreo de calidad del aire, siendo ineficiente porque reduce la veracidad de los datos; 2. Se pretendía realizar el estudio para el periodo comprendido entre 2008 y 2014, pero debido a que la estación de calidad del aire sufrió cambios de infraestructura y de control, se perdió una cantidad considerable de registros de contaminantes por lo que los años 2008 y 2009 no contaban con una cantidad relevante de datos; 3. Se cuenta con un gran sesgo porque no se conoce a fondo el comportamiento socioeconómico de la población, desconociendo así el periodo y frecuencia diaria de exposición de los habitantes de la localidad frente a los contaminantes, lo cual no permite ser evaluado bajo un diseño ecológico, como el utilizado en el presente estudio.

Los resultados de esta investigación son de gran utilidad para la Secretaria Distrital de Ambiente y la Secretaria de Salud, puesto que proporciona un insumo para establecer lineamientos de cumplimiento en cuanto a calidad del aire tanto para el sector industrial y de movilidad en la ciudad de Bogotá, lo cual permitiría diseñar un plan integral de calidad del aire donde se involucre al Ministerio de Transporte y a las entidades territoriales para la planeación y ejecución de estrategias que logren reducir la contaminación del aire.

Además la Secretaria Distrital de Ambiente debería impulsar por medio de convenios con entidades de educación superior la elaboración de inventarios de fuentes móviles y fijas, con el fin de tener un control sobre las industrias que no cumplen con los límites permisibles de emisiones y así poder contar con herramientas que fortalezcan la articulación con el sector de salud, permitiendo implementar políticas de prevención y control en cuanto a la vigilancia sanitaria donde se promueva e incentive el uso de tecnologías limpias que proporcionen beneficios ambientales.

Finalmente la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) debe continuar mejorando su función y así fortalecer la modelación de calidad del aire para desarrollar modelos que permitan tomar decisiones en pro del bienestar de la población, complementando con la realización de campañas de educación ambiental que promuevan la disminución del impacto que se genera especialmente en la salud de los grupos etarios de los niños menores de 5 años y los adultos mayores de 65 años.

REFERENCIAS

[1] Organización Mundial de la Salud (OMS) [En línea]. Ginebra, 2016 Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>

[2] Rojas NY. Aire y problemas ambientales de Bogotá. 2007

[3] Departamento Nacional de Planeación. Costos en la salud asociados a la degradación ambiental. [Internet]. 2015. Disponible en: [https://www.dnp.gov.co/Paginas/Los-costos-en-la-salud-asociados-a-la-degradaci%C3%B3n-ambiental-en-Colombia-ascienden-a-\\$20,7-billones-.aspx](https://www.dnp.gov.co/Paginas/Los-costos-en-la-salud-asociados-a-la-degradaci%C3%B3n-ambiental-en-Colombia-ascienden-a-$20,7-billones-.aspx)

- [4] Cristóbal, E. H. Boletín epidemiológico y ambiental. [Internet]. 2014 Dic. Disponible en: http://esesancristobal.gov.co/sites/default/files/documentos/medio_ambiente/Boletin%20Epidemiologico_No.%2020_Diciembre_hsc.pdf
- [5] Linares Cristina, Díaz Julio. Efecto de las partículas de diámetro inferior a 2,5 micras (PM_{2,5}) sobre los ingresos hospitalarios en niños menores de 10 años en Madrid. Gac Sanit 2009 Jun.
- [6] Blanco-Becerra Luis Camilo, Miranda-Soberanis Víctor, Hernández-Cadena Leticia, Barraza-Villarreal Albino, Junger Washington, Hurtado-Díaz Magali et al . Effect of particulate matter less than 10µm (PM₁₀) on mortality in Bogota, Colombia: a time-series analysis, 1998-2006. Salud pública Méx 2014.
- [7] Herrera Torres AM, Echeverri Londono CA, Maya Vasco GJ, Ordonez Molina JE. Patologías respiratorias en niños preescolares y su relación con la concentración de contaminantes en el aire en la Ciudad de Medellín. Revista Ingenierías 2011 Jul 1,;10(19):21-32.
- [8] Secretaría distrital de planeación [En línea]. Bogotá, 2009. Disponible en: <http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/InformacionEnLinea/InformacionDescargableUPZs/Localidad%203%20SantaFe/MONOGRAFIA/03%20Localidad%20de%20Santa%20Fe.pdf>
- [9] Secretaría Distrital de Ambiente [En línea]. Características generales de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá y parámetros medidos en cada una de ellas a 2013. Disponible en: <http://ambientebogota.gov.co/estaciones-rmcab>
- [10] Universidad Pontificia Bolivariana. Clasificación Estaciones de Monitoreo de Calidad del Aire, 2014. Disponible en: http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/isdocConvenio243/Informe_caracterizacion_estaciones2014.pdf
- [11] Armstrong Ben-G, Gasparrini Antonio, Tobias Aurelio. A. Conditional Poisson models: a flexible alternative to conditional logistic case cross-over analysis. BMC Med Res Methodol. 2014. 14:122
- [12] Gallego Picó A, González Fernández I, Sánchez Gimeno B. Contaminación atmosférica. Madrid: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia; 2012.
- [13] Liang W, Wei H, Kuo H. Association between daily mortality from respiratory and cardiovascular diseases and air pollution in Taiwan. Environmental Research 2009;109(1):51-58
- [14] Ma Y, Zhao Y, Yang S, Zhou J, Xin J, Wang S, et al. Short-term effects of ambient air pollution on emergency room admissions due to cardiovascular causes in Beijing, China. Environmental Pollution 2017;230(Supplement C):974-980
- [15] Mohammad Shahi, A., Omraninava, A., Goli, M., Soheilarezoomand, H., Mirzaei, N. The Effects of Air Pollution on Cardiovascular and Respiratory Causes of Emergency Admission. Emergency 2014;2(3).
- [16] Liu H, Tian Y, Xiang X, Sun K, Juan J, Song J, et al. Air Pollution and Hospitalization for Acute Myocardial Infarction in China. The American Journal of Cardiology 2017;120(5):753-758

[17] Sanidas E, Papadopoulos DP, Grassos H, Velliou M, Tsioufis K, Barbetseas J, et al. Air pollution and arterial hypertension. A new risk factor is in the air. *Journal of the American Society of Hypertension* 2017;11(11):709-715.

[18] Carla Ancona, Chiara Badaloni, Francesca Mataloni, Andrea Bolignano, Simone Bucci, Giulia Cesaroni, Roberto Sozzi, Marina Davoli, Francesco Forastiere. Mortality and morbidity in a population exposed to multiple sources of air pollution: A retrospective cohort study using air dispersion models. *Environ Res.* 2015 Feb; 137: 467–474.

[19] Garcia-Olive I, Radua J, Sanchez-Berenguer D, Hernandez-Biette A, Raya-Marquez P, Stojanovic Z, et al. Association between environmental factors and hospitalisations for bronchiectasis in Badalona, Barcelona, Spain (2007-2015). *Med Clin (Barc)* 2017 July 26.

[20] UNICEF, 2016. Duque J. Clear the air for the children. United Nations Children’s Fund (UNICEF).

[21] M. Simoni, I. Annesi-Maesano, T. Sigsgaard, D. Norback, G. Wieslander, W. Nystad, M. Canciani, P. Sestini, G. Viegi. School air quality related to dry cough, rhinitis and nasal patency in children. *Eur Respir J.* 2010 Apr; 35(4): 742–749.

[22] Esplugues A, Ballester F, Estarlich M, Llop S, Fuentes-Leonarte V, Mantilla E, et al. Outdoor, but not indoor, nitrogen dioxide exposure is associated with persistent cough during the first year of life. *Science of The Total Environment* 2011;409(22):4667-4673.

[23] Carbajal-Arroyo L, Barraza-Villarreal A, Durand-Pardo R, Moreno-Macias H, Espinoza-Lain R, Chiarella-Ortigosa P, et al. Impact of traffic flow on the asthma prevalence among school children in Lima, Peru. *J Asthma* 2007 April 01;44(3):197-202.

[24] INAM USTA P Social y Salud Pública. Universidad Santo Tomás de Bogotá D.C., Colombia. e-mail: connyyohana@gmail.com – conny.buitrago@usantotomas.edu.co. EVALUATION OF THE SHORT-TERM EFFECTS OF CRITERIA POLLUTANTS ON CARDIOPULMONARY MORTALITY IN FONTIBÓN-BOGOTÁ Buitrago Ocampo Conny Yohana.

[25] García-Díaz KA, Efectos A Corto Plazo De La Contaminación Del Aire Sobre La Mortalidad Cardiopulmonar En La Localidad De Tunjuelito; 2017.