

EFFECTOS A CORTO PLAZO DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE SOBRE LA MORTALIDAD CARDIOPULMONAR EN LA LOCALIDAD DE TUNJUELITO

Título en inglés:

SHORT TERM EFFECTS OF ATMOSPHERIC CONTAMINATION ON CARDIOPULMONARY MORTALITY IN THE LOCALITY OF TUNJUELITO

García Díaz Katherine Andrea¹

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: katherine.garcía@usantotomas.edu.co

RESUMEN

Objetivo: Evaluar el efecto a corto plazo de la contaminación del aire sobre la mortalidad cardiopulmonar, a través de un enfoque de contaminantes individuales y múltiples.

Materiales y Métodos: Se realizó un estudio ecológico de series de tiempo (2009-2014) utilizando Regresión de Poisson para encontrar la asociación entre la mortalidad y la exposición teniendo en cuenta modelos de retraso distribuido, promedio móvil y multi-contaminante.

Resultados: Al evaluar el efecto a corto plazo de la contaminación del aire sobre la mortalidad cardiopulmonar se evidencio que, para la mortalidad por enfermedades cardiovasculares en todas las edades hubo un aumento con el PM_{2.5} y el O₃, presentando riesgos de 11,85% (IC95%: -6,31%;33,5%) y 11,56% (IC95%: -6,95%;33,7%) y para los mayores de 65 años el aumento en el riesgo por PM₁₀ fue de 4,39% (IC95%: -15,6%;29,2%). Para la mortalidad por enfermedades respiratorias se evidenció que, para todas las edades el riesgo aumento con O₃ en un 3,42% (IC95%: -14,6%;25,2%) y para los mayores de 65 años aumento con CO en un 3,60% (IC95%: -11,8%; 21,7%). Por contaminantes múltiples, en juntos eventos de mortalidad se evidencia un aumento más relevante cuando se combinan los contaminantes entre sí. Finalmente, para los dos casos de mortalidad, se encontró efectos de los contaminantes en la mortalidad por enfermedades más específicas (EPOC, IAM, Diritmias, STROKE, etc.).

Conclusiones: A pesar de que los resultados no fueron estadísticamente significativos se evidenció que los diferentes contaminantes criterio están asociados positivamente a la mortalidad cardiopulmonar, destacando más el efecto combinado de los contaminantes que cuando están en estado individual.

Palabras Clave: Contaminación del aire, mortalidad, enfermedades cardiopulmonares, series de tiempo.

ABSTRACT

Objective. To evaluate the short-term effect of air pollution on cardiopulmonary mortality, through an approach of individual and multiple contaminants.

Materials and methods. A time-series ecological study was conducted from 2009 to 2014 using Poisson regression to find the association between mortality and exposure, given account models of distributed delay, moving average and multi pollutants.

Results. In evaluating the short-term effect of air pollution on cardiopulmonary mortality, it was evident that, for mortality from cardiovascular diseases in all ages, there was an increase with PM_{2.5} and O₃, presenting risks of 11.85% (95% CI: -6.31%, 33.5%) and 11.56% (95% CI: -6.95%, 33.7%) and for those over 65 the increase in PM₁₀ risk was 4.39% (95% CI: -15.6%, 29.2%). For mortality from respiratory diseases, it was evident that, for all ages, the risk increased with O₃ by 3.42% (95% CI: -14.6%, 25.2%), and for those older than 65 years, increased CO in a 3.60% (95% CI: -11.8%, 21.7%). For multiple contaminants, together mortality events show a more relevant increase when the contaminants are combined with each other. Finally, for the two cases of mortality, we found the effects of pollutants on mortality from more specific diseases (IAM, EPOC, Diritmias, STROKE, etc.).

Conclusions. Although the results were not statistically significant, it was shown that the different pollutant criteria are positively associated with cardiopulmonary mortality, emphasizing more the combined effect of the contaminants than when they are in an individual state.

Key Words: Air pollution, mortality, cardiopulmonary diseases, time series, Tunjuelito.

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica es una de las problemáticas del medio ambiente más relevantes que se ha tenido en cuenta por las diferentes entidades, ya que un aire limpio es sinónimo de buena salud constituyendo un requisito básico que debe ser evaluado continuamente (1). En el 2005 la Organización Mundial de la Salud (OMS) realizó un estudio comparando distintas regiones del mundo, concluyendo que Asia y Latinoamérica tienen mayores concentraciones de material particulado menor a 10 μm (PM₁₀) que Europa y Norteamérica, debido principalmente a su crecimiento en producción industrial y el uso de combustibles de baja calidad (2). Además, esta misma entidad estimó que cerca de dos millones de muertes prematuras se atribuyen cada año a los efectos de la contaminación del aire en espacios abiertos urbanos y en espacios cerrados, donde más de la mitad de esta carga de enfermedad recae en las poblaciones de países en desarrollo (1). A su vez, a raíz de esta problemática es necesario entender cómo es la dinámica de los contaminantes "criterio" los cuales son medidos en estaciones de monitoreo y controlados a través de normas de calidad del aire y normas de emisión para saber la influencia que pueden tener sobre la salud (3).

Dentro de los contaminantes criterio se encuentran el grupo de material particulado con diámetro aerodinámico menor a 10 μm (PM_{10}) y con diámetro aerodinámico menor a 2.5 μm ($\text{PM}_{2.5}$), siendo los dos contaminantes más complejos por sus características de tamaño, composición química, transformación en la atmósfera e interacción con los demás contaminantes (2). Estos contaminantes son conocidos como “respirables”, ya que pueden penetrar los mecanismos de defensa del sistema respiratorio y llegar hasta los bronquios o incluso al alveolo pulmonar (4).

Por otro lado, se encuentra el grupo de los contaminantes gaseosos como el Ozono troposférico (O_3), el cual se forma por la reacción con la luz solar (fotoquímica) de contaminantes como los óxidos de nitrógeno (NO_x), procedentes de las emisiones de vehículos o de industrias, causando efectos a la salud como problemas respiratorios, provocando asma, reduciendo la función pulmonar y originando enfermedades pulmonares (4). El dióxido de nitrógeno (NO_2) tiene una de las principales fuentes de emisiones antropogénicas en los procesos de combustión como la calefacción, la generación de electricidad y los motores de vehículos (4), produciendo enfermedades como la bronquitis en niños asmáticos, además, disminuye la función pulmonar (1). El dióxido de azufre (SO_2) se genera en la combustión de combustibles fósiles (carbón y petróleo) (4), produciendo efectos en personas asmáticas, quienes experimentan cambios en la función pulmonar y síntomas respiratorios tras períodos de exposición de tan sólo 10 minutos (1). Por último, se tiene el monóxido de carbono (CO) que a bajas concentraciones y al entrar en el sistema circulatorio crea un déficit de oxígeno en la sangre, debido a la formación de carboxihemoglobina (2).

De acuerdo a lo anterior, es evidente que los contaminantes atmosféricos pueden influir en enfermedades específicas como las cardiopulmonares, poniendo en riesgo la salud de la población expuesta, es por ello que se vuelve significativo investigar el papel que desempeña la contaminación del aire en la morbi-mortalidad en diferentes lugares del mundo.

Según un estudio realizado por Larsen, en Colombia, el 74% de la población identifica a la contaminación del aire como uno de los problemas más serios en el país, afectando a la población de bajos recursos y generando aproximadamente 7.000 casos de muertes prematuras anuales (2). Para el año 2005, el documento CONPES 3344 estimó que el 41% del total de las emisiones se generan en ocho ciudades de Colombia (Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, El Valle de Sogamoso, Bucaramanga, Cartagena y Pereira), donde las fuentes móviles aportan el 40% de las emisiones de PM_{10} , NO_x y CO y las fuentes fijas aportan el 60% de las emisiones por óxidos de azufre (SO_x) y otros contaminantes (2)(5). Sin embargo, si se tiene en cuenta el impacto de la exposición de la población a la contaminación, es posible afirmar, que las fuentes móviles tienen un impacto más significativo debido a la mayor cercanía de la población (peatones, ciclistas, conductores) a las fuentes de emisión (3).

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) establece que Bogotá es reconocida como el tercer centro urbano con mayor contaminación atmosférica en América Latina, donde el material particulado es el contaminante que presenta las concentraciones más altas, que exceden frecuentemente los estándares de calidad del aire (6). Al haber un aumento en los niveles de este contaminante la salud de la población se puede ver influenciada e incluso aumentar la probabilidad de morir por diversas enfermedades respiratorias, de hecho, registros del Departamento Nacional de Estadística (DANE) evidencian que para el año 2010-2011 Bogotá tuvo una de las mortalidades más altas por neumonía, enfermedades crónicas en vías respiratorias, enfermedades isquémicas del corazón y enfermedades cerebrovasculares que pueden ser atribuidas a la baja calidad del aire que se registra diferentes zonas de la ciudad (7).

Centrándonos en el área de estudio, la localidad de Tunjuelito ubicada sobre la parte baja del río Tunjuelo al sur de Bogotá ocupa el cuarto lugar entre las localidades con menor superficie dentro del Distrito Capital; con 276,1 ha de áreas protegidas, las cuales corresponden a los espacios ecológicos de la ronda del río Tunjuelito y el parque el Tunal; por su ubicación la localidad no tiene suelo rural. Contiene 848 manzanas y 53 barrios donde habitan más de 200.725 habitantes, cifra estimada por el DANE para el año 2014 (8). Dicha localidad presenta una dinámica con procesos de transformación que han afectado su base económica, su estructura social, su organización espacial y funcional (9). Esta dinámica puede estar representando un gran problema de contaminación del aire a la población debido a las construcciones que se han implementado, como la gran malla vial por donde pasan las principales vías de Bogotá, volviéndolo un factor relevante por la cantidad de vehículos que transitan a diario, sumado a que algunas de las vías no están del todo pavimentadas. Otra problemática que se presenta son las industrias de curtiembres, que llevan a cabo diferentes procesos químicos como el encalado donde se generan gases por la utilización de una solución de sulfuro de sodio y cal, para eliminar el pelo, destruir epidermis, nervios, etc; en el desencalado también usan químicos para lavar la piel y remover la cal formando emisiones de amoníaco y, por último, el acabado lleva consigo la generación de VOC's, ya que en este proceso se aplican capas de una mezcla de resinas y pigmentos para finalizar con una capa de base nitro, poliuretano o proteínico que confieren una mayor solidez y regula el grado de brillo. Conjuntamente, en los procesos se utilizan calderas, generadores eléctricos y otros equipos que consumen combustible produciendo gases efecto invernadero (10)(11). Se debe tener en cuenta que en esta localidad se encuentran ubicadas una gran cantidad de curtiembres edificadas principalmente en viviendas, por lo tanto, muchas de estas industrias no cumplen con los requerimientos que establece la norma aumentando las emisiones y generando otros impactos al medio ambiente (12). Este tipo de problemáticas pueden influir en la calidad de vida de los habitantes, puesto que al estar expuestos a niveles considerables de los diferentes contaminantes, son vulnerables a sufrir diversas enfermedades cardiopulmonares; en el 2012 el DANE estableció para esta localidad que la mortalidad por enfermedades isquémicas del corazón, cerebrovasculares y crónicas de las vías respiratorias afectó en un 68.7% los grupos de mayores de 60 años y en un 20% a menores de un año, respectivamente (8).

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto a corto plazo de la contaminación del aire sobre la mortalidad cardiopulmonar en la localidad de Tunjuelito, a través de un enfoque de contaminantes individuales y múltiples.

METODOLOGÍA

Diseño del estudio

Se llevó a cabo un estudio ecológico utilizando análisis de series de tiempo, durante el periodo 2009 a 2014, en la localidad de Tunjuelito (Bogotá). Este estudio es uno de los diseños más sencillos empleado en la descripción de la situación de la salud o en la investigación de nuevas exposiciones en poblaciones humanas. Sin embargo, por lo limitado de sus mediciones, pueden ser más susceptibles de sesgos que los estudios que se basan en observaciones individuales. Los estudios ecológicos en epidemiología se distinguen de otros diseños en su unidad de observación, pues se caracterizan por estudiar grupos, más que individuos por separado (13).

Se seleccionó este tipo de estudio debido a la fácil disponibilidad de los datos ya que comúnmente se emplean datos registrados rutinariamente con propósitos administrativos y legales. Además, en un estudio de series de tiempo analítico se comparan las variaciones temporales de los niveles de exposición con otra serie de tiempo que refleja los cambios en la frecuencia de la enfermedad en la población de un área geográfica. Finalmente, otra motivación para realizar este estudio ecológico es que se puede comparar los resultados entre las diversas áreas estudiadas permitiendo la evaluación de múltiples niveles de exposición. (13).

El estudio hace parte del proyecto “Efecto a corto plazo de la contaminación del aire sobre la mortalidad cardiopulmonar en cuatro localidades de Bogotá”, desarrollado por la Maestría de Salud Pública de la Universidad Santo Tomás Sede Central (Bogotá).

Recolección de información

Datos mortalidad: La Secretaria Distrital de Salud (SDS) de Bogotá suministró la información sobre el total de muertes diarias en la localidad de Tunjuelito para el periodo de estudio, por medio de los certificados de defunción. Los diagnósticos utilizados según la 10ª revisión de la Clasificación Estadística Internacional de Enfermedades (CIE), se observan en la Tabla 1.

Tabla 1. Diagnósticos utilizados por enfermedades CIE-10

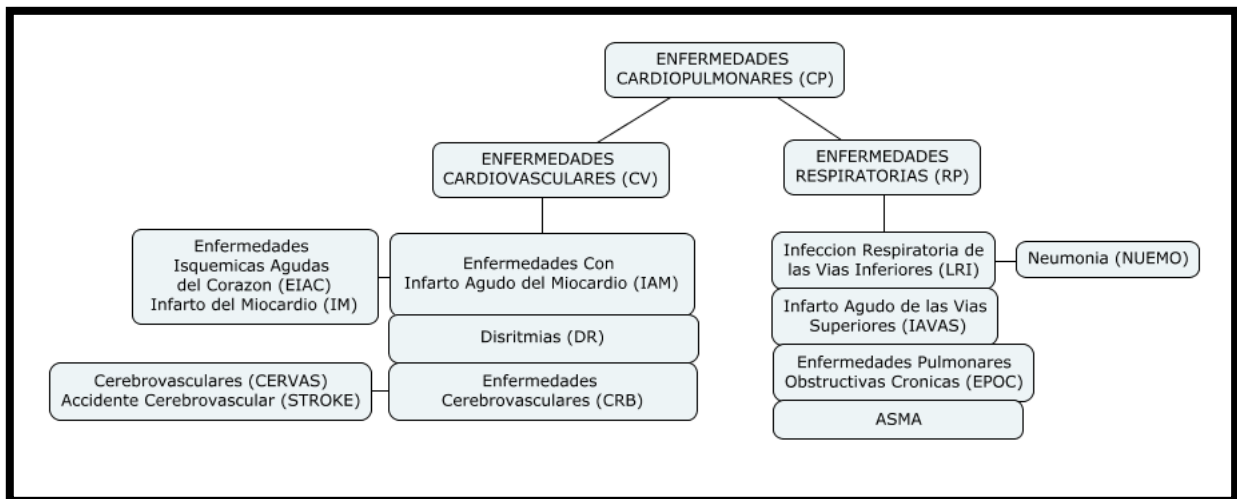
Código CIE	Enfermedad
I200-I209	Angina de pecho (ANG)
I210-I219	Infarto del miocardio (IM)

I240-I249	Enfermedades isquémicas agudas del corazón (EIAC)
I440-I459 , I470-I509	Disritmias (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: CIE – 10.

El Gráfico 1 se muestra como se organizaron los diagnósticos para el análisis. Cabe resaltar que de todos los diagnósticos que se utilizaron no se tuvo en cuenta Angina de pecho, Influenza y Bronquitis por falta de casos.

Gráfico 1. Organización de los diagnósticos para el análisis.



Fuente: El autor.

Contaminantes atmosféricos y datos meteorológicos: La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) fue la entidad encargada de suministrar los datos horarios de los contaminantes atmosféricos que son: CO, SO₂, NO₂, O₃, PM₁₀ y PM_{2.5} de la estación “El Tunal” ubicada en la localidad de Tunjuelito, además, se obtuvo los parámetros meteorológicos como la temperatura y humedad relativa.

En necesario aclarar que en el periodo de estudio se presentaron registros para todos los contaminantes, sin embargo, algunas horas y días no se tuvieron en cuenta por qué registraban el nombre “Sin Data” o “<Muestra”.

Tratamiento de datos de mortalidad y contaminantes atmosféricos

En una base de datos se registró la mortalidad de Bogotá para el periodo de 2009 a 2014. Los datos fueron procesados de la siguiente manera: primero, se procedió a utilizar los filtros de Excel para dejar solo los de la localidad de Tunjuelito, después se aplicaron filtros de nuevo seleccionando los diagnósticos de interés (CIE-10) y clasificando diferentes grupos etarios (menores de 1 año, 1 a 5 años, 6 a 14 años, menores a 14 años, 15 a 64 años y mayores de 65 años), posteriormente, se realizaron conteos, dependiendo de la combinación entre los diagnósticos y grupos etarios, asignándoles un valor de 1, lo que permitió obtener una base incompleta en días puesto que, no siempre hubo casos de defunciones, lo cual se dejó expresado en la casilla con un valor de 0 para que la serie del periodo de estudio estuviera completa, es decir, que no se presentaran casillas vacías.

La base de datos de contaminantes atmosféricos original fue del 2008 a 2014, pero después de realizar la validación de datos se pudo evidenciar que el 2008 tenía un porcentaje alto de datos perdidos, por lo cual solo se hizo el análisis para el de 2009 a 2014. Como los datos estaban registrados de forma horaria, se calcularon los siguientes periodos de medición: para PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_2 y SO_2 se calcularon promedios diarios de 24 horas, considerando el criterio de suficiencia de datos del 75% (de los 24 registros para cada día, se debía contar por lo menos con 18 datos válidos para considerar ese día en particular (14)). Para el NO_2 , CO y O_3 se calculó el máximo horario reportando en el día, para SO_2 se calculó el máximo promedio móvil 3 horas del día. Finalmente, para el O_3 y el CO se calcularon promedios móviles de 8 horas escogiendo el mayor de estos promedios. Por otro lado, en cuanto a la temperatura y la humedad relativa se calculó promedio de 24 horas considerando el criterio de suficiencia de datos del 75% y para la precipitación se reportó la sumatoria de todos los valores horarios para cada día.

En muchos días no se hallaron promedios por falta de datos, tal como sucedió con el $PM_{2.5}$, pero al observar la base se registraron más datos de PM_{10} que de $PM_{2.5}$, entonces, para tener una base más sólida se pudo hacer una imputación de datos de $PM_{2.5}$ utilizando la relación de $PM_{2.5}/PM_{10}$ del día anterior al que no se tenía registro de dicho contaminante. Conjuntamente, se procedió a multiplicar el resultado de la relación con la concentración de PM_{10} del día donde no se tenía registro de $PM_{2.5}$ hallando así la concentración del contaminante para ese día (15).

Análisis estadístico

Para los contaminantes criterio y la mortalidad se realizó un análisis inicial descriptivo que contempla la media, mediana, desviación estándar, máximos y mínimos, y percentiles 25 y 75. Se estimó un cambio en el riesgo para la mortalidad cardiopulmonar asociada con la variación a la exposición diaria a los diferentes contaminantes criterio, mediante el modelo de Regresión de Poisson. Se escogió este tipo de modelo, ya que, las tasas de mortalidad en las regiones geográficas que se comparan comúnmente son eventos que ocurren a bajas frecuencias, por ende, la regresión puede ser usada para hacer las comparaciones

entre grupos e incluir variables potencialmente confusoras en modelos de regresión múltiple (13).

Para evaluar el efecto de varios contaminantes, se empleó el modelo de múltiples contaminantes el cual consiste en hacer la combinación de dos contaminantes criterio mencionados anteriormente (16). Se estimó el efecto de la exposición a estos contaminantes en la mortalidad con diferentes periodos de exposición usando modelos de retraso (Lag), de cero a cinco días [un retraso en el día 0 (Lag 0) corresponde a la contaminación actual y un retraso de 1 día se refiere a la concentración del día anterior (Lag 1)] y del promedio de varios días (el Lag 1-3 corresponde al promedio móvil de 3 días de la concentración del contaminante, de los 3 días previos y el Lag 1-5 corresponde al promedio móvil de 5 días de la concentración del contaminante, de los 5 días previos) (16).

El software utilizado para el análisis estadístico fue STATA versión 11, generando un modelo independiente para cada causa de muerte estudiada, considerando los grupos de todas las edades y mayores de 65 años. Después de estimar los modelos se seleccionaron aquellos que mostraron un efecto, para esto se tuvo en cuenta el valor del Riesgo Relativo (RR), el criterio de información de Akaike (AIC) y el Bayesiano (BIC), además para las combinaciones de los contaminantes se calculó la correlación de Pearson y el factor de inflación de la varianza (VIF). Finalmente, se hizo un análisis de componentes principales para saber que grupos de contaminantes podían estar más correlacionados.

RESULTADOS

La Tabla 2 resume el comportamiento de los contaminantes atmosféricos y los parámetros meteorológicos para la localidad de Tunjuelito en el periodo de 2009 a 2014. Comparando estos resultados con la norma nacional (Resolución 610 de 2010) y las Guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS), se evidencia que el PM₁₀ y PM_{2.5} son los únicos contaminantes que excedieron los niveles recomendados por la OMS. El promedio diario de PM₁₀ fue de 50,6 µg/m³ (DE=±21), que excede el valor anual de la OMS (20 µg/m³); para el PM_{2.5} el promedio diario fue 20.52 (DE=±9.2), que excede el valor guía sugerido por la OMS (10 µg/m³), juntos contribuyendo a la contaminación atmosférica y la posible afectación a la salud de la población (1)(17). Es importante resaltar que, aunque la concentración promedio 24 horas de NO₂ calculada no excedió el valor anual establecido por la OMS (21 ppb), se encuentra cercana y representa un posible riesgo a la salud de los habitantes de la localidad.

Tabla 2. Comportamiento de contaminantes y parámetros meteorológicos del Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA) de Bogotá localidad de Tunjuelito, 2009 – 2014.

Contaminante o parámetro meteorológico	Obs.	Media	D.E	Mín.	Máx.	P25%	P75%	RIQ	% datos disponibles
PM ₁₀ (24 horas µg/m ³)	1933	50,63	21,06	12,8	212,7	33,9	63,2	29,4	88
PM _{2.5} (24 horas µg/m ³)	1490	20,52	9,29	5,4	62,4	13	26,6	13,6	68
O ₃ (Máximo horario ppb)	1927	23,14	11,01	3,2	93,4	15,4	28,2	13,3	87

O ₃ (Promedio Máximo 8 horas ppb)	1926	18,30	8,05	1,6	61,2	12,7	22,4	10,6	87
CO (Máximo horario ppm)	1706	1,80	0,89	0,1	6,8	1,1	2,4	0,5	77
CO (Promedio Máximo 8 horas ppm)	1704	1,44	0,57	0,1	6	0,7	1,45	0,90	77
SO ₂ (24 Horas) ppb	1465	3,48	3,27	0,2	21,1	1,2	4,6	3,3	66
SO ₂ (Promedio Máximo 3 Horas) ppb	1595	6,86	7,30	0,4	74	2,2	8,9	5,8	72
NO ₂ (24 Horas) ppb	1647	18,14	6,92	3,2	61,4	12,6	22,8	10	75
NO ₂ (Máximo Horario) ppb	1785	33,31	13,79	6,3	101,2	23,4	7,7	17	81
Temperatura °C	1861	13,78	1,50	10	20	13	14	2	84
Humedad Relativa (%)	2046	65,10	6,16	28	82	61	69	8	93

Obs: Observaciones; D.E: Desviación Estándar. P25%: Percentil 25; P75%: Percentil 75; RIQ: Rango Interquartil; ppb: Partes por billón; ppm: Partes por millón.

Fuente: El autor y (1)(17).

En cuanto a la mortalidad total para la localidad de Tunjuelito se registraron 4.906 defunciones durante el periodo de 2009 a 2014, de las cuales 1.307 (26%) muertes fueron por causas cardiopulmonares para todas las edades, de ese 26% de muertes por todas las edades el 77% (1.016) se vio representado por los mayores de 65 años.

Del total de muertes cardiopulmonares el 64% (n=840) fueron por enfermedad cardiovascular, donde el grupo de mayores de 65 años representó el 75% (n=637) de los fallecimientos. La mortalidad respiratoria presentó el 36% (n=466) de la mortalidad cardiopulmonar y el 81% (n=379) de los decesos se presentó en los mayores de 65 años.

Dentro del total de las enfermedades cardiovasculares, las enfermedades agudas del miocardio representaron un 47% (n=399), donde un 76% (n=304) se presentó en los mayores de 65 años; las disritmias representaron un 32% (n=267) en donde un 79% (n=213) se registró en los mayores de 65 años. Finalmente, las enfermedades cerebrovasculares representaron un 21% (n=174) del total de cardiovasculares, donde el 69% (n=120) se presentó en los mayores de 65 años. Para las enfermedades respiratorias, las infecciones respiratorias de las vías inferiores representaron un 59% (n=276) del total, donde el 74% (n=205) se registró en los mayores de 65 años; la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) representó el 39% (n=180) de la mortalidad total por esta causa, donde el 93% (n=168) se registró en los mayores de 65 años (Tabla 3).

Tabla 3. Comportamiento de la mortalidad en la localidad de Tunjuelito, periodo 2009 – 2014.

Mortalidad	Obs.	Media (Casos por día)	D.E	Mínimo (Casos por día)	Máximo (Casos Por día)
CP Total	1307	0.59	0.77	0	5
CP > 65 años	1016	0.46	0.67	0	5
CV Total	840	0.38	0.61	0	5
CV > 65 años	637	0.29	0.54	0	4

RP Total	466	0.21	0.46	0	3
RP > 65 años	379	0.17	0.41	0	3
IAM Total	399	0.18	0.42	0	3
IAM > 65 años	304	0.13	0.37	0	3
DR Total	267	0.12	0.34	0	2
DR > 65 años	213	0.09	0.30	0	2
CRB Total	174	0.07	0.28	0	2
CRB > 65 años	120	0.05	0.23	0	2
LRI Total	276	0.12	0.35	0	3
LRI > 65 años	205	0.09	0.30	0	2
EPOC Total	180	0.08	0.28	0	2
EPOC > 65 años	168	0.07	0.27	0	2

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

Fuente: El autor.

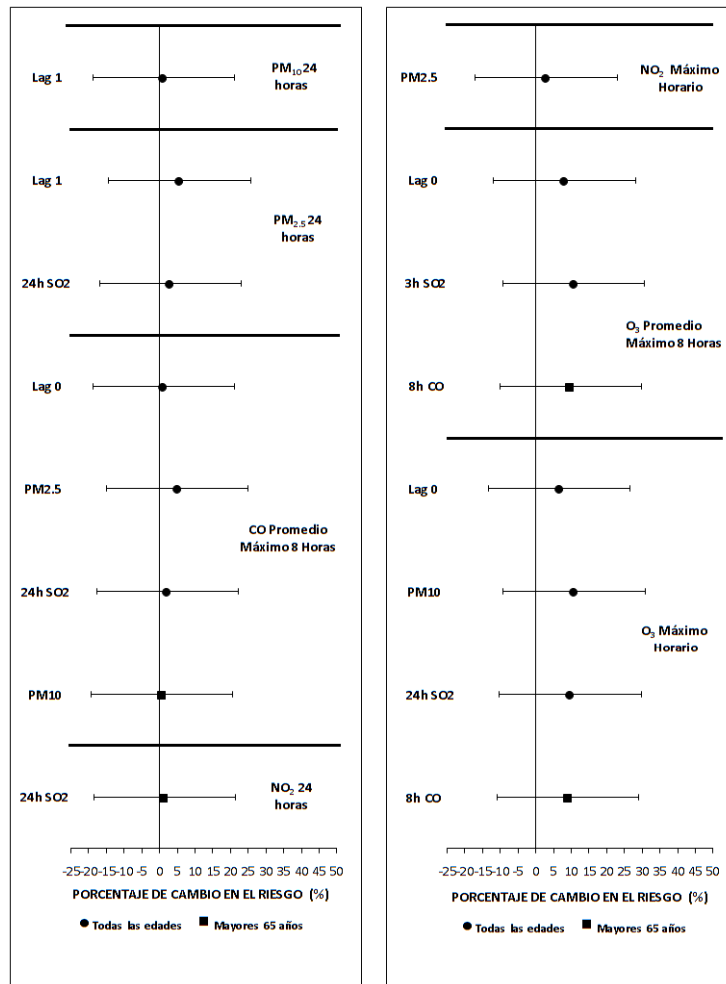
Cambio en el porcentaje de riesgo en la mortalidad por contaminante

El cambio en el porcentaje de riesgo en la mortalidad por contaminante se calculó a partir del riesgo relativo que arrojaba el software utilizado, sin embargo, para que quedara más legible se procedió a dejar el efecto que se estaba presentando en porcentaje por medio de la siguiente fórmula $(RR - 1) * 100$ donde RR es el riesgo relativo que se obtiene del programa como se dijo anteriormente.

Mortalidad Cardiopulmonar

Para la mortalidad general por enfermedades cardiopulmonares en todas las edades, se evidenció que el mayor efecto en el porcentaje de cambio en el riesgo fue para el O_3 en el Lag0, especificando que, por un aumento de 10,6 ppb en el promedio máximo 8 horas de este contaminante la mortalidad por enfermedades cardiopulmonares aumenta en un 8,13% (IC95%: -6,17%; 24,6%). Para PM_{10} y $PM_{2.5}$ en el Lag 1, se observó un aumento de 1,1% (IC95%: -2,96%; 5,33%) y 5,63% (IC95%: -8,6%; 22,11%), por el aumento de 10 $\mu g/m^3$ y 13,6 $\mu g/m^3$ en el promedio diario para cada contaminante (Figura 1).

Figura 1. Porcentaje de cambio en el riesgo en la mortalidad cardiopulmonar, en todas las edades y mayores de 65 años, relacionada con la exposición a contaminantes criterio en la localidad de Tunjuelito, 2009 - 2014.



Fuente: El autor.

Al utilizar los modelos de múltiples contaminantes se encontró que por un aumento de 13,3 ppb en el máximo horario de O₃ y un incremento de 10 µg/m³ de PM₁₀ en el promedio diario, la mortalidad por enfermedades cardiopulmonares aumentó en un 10,77% (IC95%: -3,6%; 27,4%) para todas las edades. Para la combinación de CO máximo 8 horas con PM_{2.5} la mortalidad aumentó un 5% (IC95%: -4,85%; 15,88%). Se concluye para la mortalidad cardiopulmonar que todos los contaminantes generaron un incremento en la mortalidad, siendo el O₃ el más influyente. Es importante señalar que ninguno de los porcentajes de cambio en el riesgo fue estadísticamente significativo.

Mortalidad Cardiovascular

Para las enfermedades cardiovasculares, en todas las edades, por un aumento de 13,6 µg/m³ en el promedio diario de PM_{2.5} y un incremento de 10,6 ppb en el promedio máximo

8 horas de O₃, la mortalidad aumento en un 11,85% (IC95%: -6,31%; 33,5%) y 11,56% (IC95%: -6,95%; 33,7%) en el Lag 1, respectivamente. Para los mayores de 65 años, se observó un aumento de 4,39% (IC95%: -15,6%; 29,2%) en la mortalidad por exposición a PM₁₀ en el Lag 1-3 y 2,82% (IC95%: -10,3%; 17,8%) por la exposición a CO en el valor máximo horario.

Al utilizar modelos de dos contaminantes, el mayor efecto se observó en la combinación SO₂ y máximo horario de CO en los mayores de 65 años, que aumentó la mortalidad en un 3,04% (IC95%: -11,5%; 20%). Se concluye, que para la mortalidad cardiovascular todos los contaminantes generaron un aumento en la mortalidad, siendo el PM_{2.5} y el O₃ los contaminantes más influyentes. Es importante resaltar que ninguno de los porcentajes de cambio en el riesgo fue estadísticamente significativo (Figura 2).

Dentro de las enfermedades cardiovasculares se observaron efectos en patologías específicas tales como infarto agudo del miocardio, disritmias, enfermedades cerebrovasculares e infarto cerebral (STROKE), las cuales se presentan a continuación:

Infarto agudo de miocardio (IAM): Para SO₂ promedio máximo 3 horas se observó que un aumento de 5,8 ppb de este contaminante incrementa la mortalidad por IAM en un 8,8% (IC95%: -10,6%; 32,5%) en los mayores de 65 años en el Lag 2. Igualmente, en el Lag 2 y en los mayores de 65 años, un aumento en las concentraciones de 10,6 ppb de O₃ en el promedio máximo de 8 horas incrementa la mortalidad por dicha enfermedad en un 3,83% (IC95%: -24,5%; 42,8%).

Para los modelos de múltiples contaminantes se observa que por un aumento de 3,3 ppb en el promedio diario de SO₂ y un incremento de 10 µg/m³ de NO₂ en el promedio diario, la mortalidad aumento un 10,18% (IC95%: -15,2%; 43,1%) en todas las edades. Otras combinaciones presentaron aumentos más pequeños, como la combinación PM₁₀ y CO promedio máximo 8 horas [6,7% (IC95%: -22,6%; 47,1%)], PM_{2.5} y CO promedio máximo 8 horas [4,24% (IC95%: -27,9%; 50,8%)] y O₃ máximo horario con PM_{2.5} [4,91% (IC95%: -27,5%; 51,8%).

Se concluye que para la mortalidad por IAM el SO₂ produjo un mayor aumento en la mortalidad, indicando que ninguno de los porcentajes de cambio en el riesgo fue estadísticamente significativo (Figura 3).

Figura 2. Porcentaje de cambio en el riesgo en la mortalidad cardiovascular, en todas las edades y mayores de 65 años, relacionada con la exposición a contaminantes criterio en la localidad de Tunjuelito, 2009 - 2014.

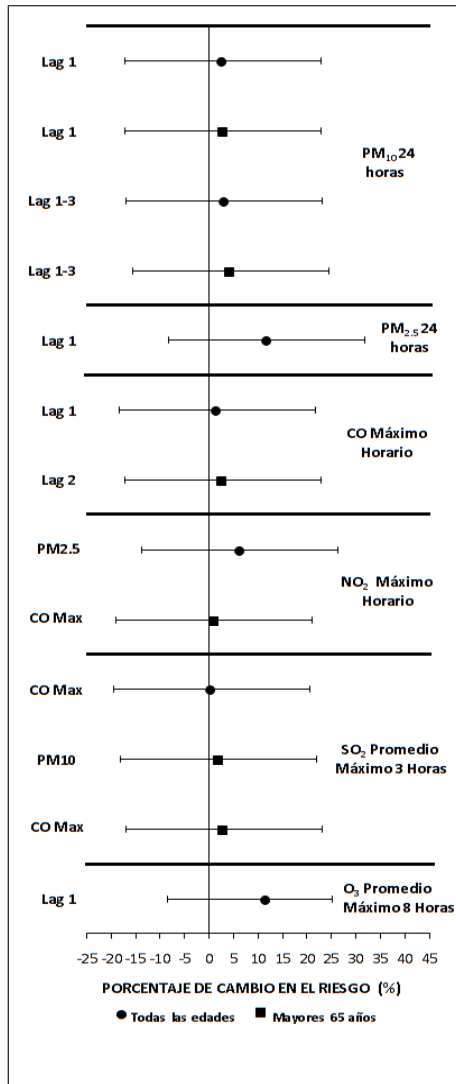
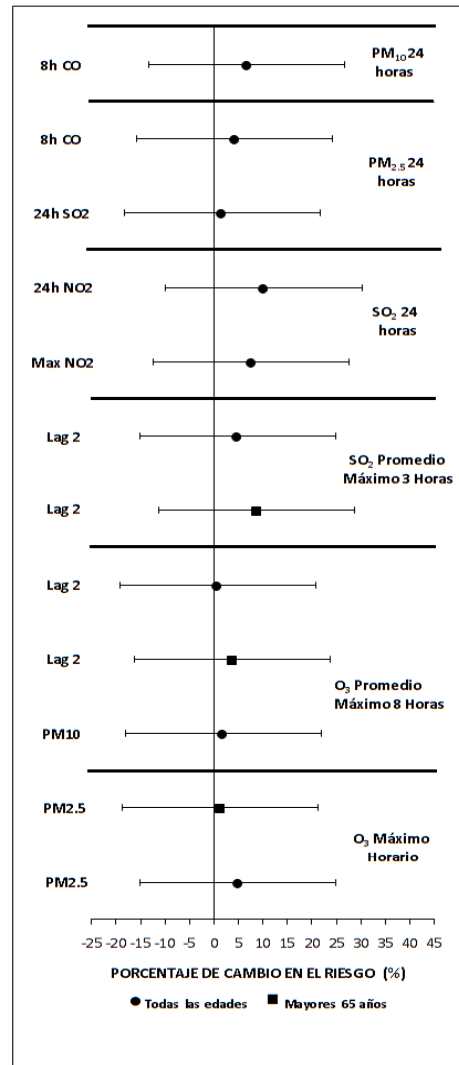


Figura 3. Porcentaje de cambio en el riesgo en la mortalidad por infarto agudo de miocardio, en todas las edades y mayores de 65 años, relacionada con la exposición a contaminantes criterio en la localidad de Tunjuelito, 2009 - 2014.

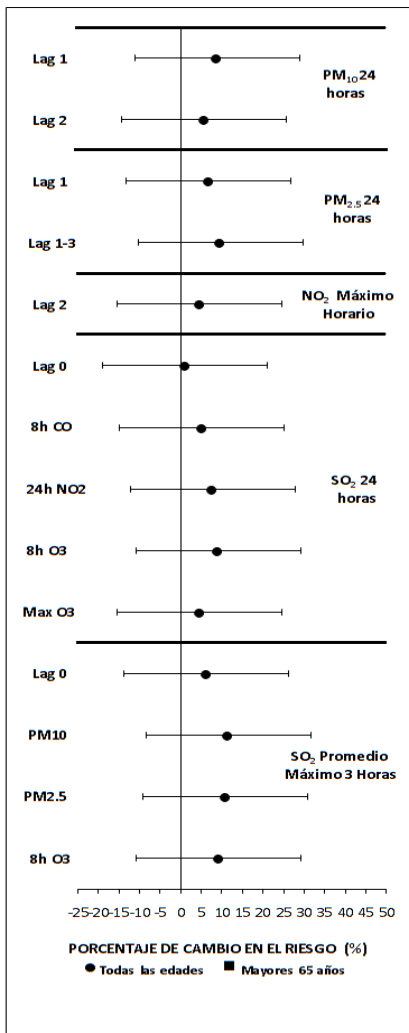


Fuente: El autor.

Disritmias (DR): Para PM_{2.5} se observó que por un incremento de 13,6 µg/m³ en el promedio diario de este contaminante aumenta la mortalidad en un 9,7% (IC95%: -26,9%, 64,6%) en todas las edades para el Lag 1-3. Para PM₁₀ en el Lag 1, NO₂ máximo horario en el Lag 2 y SO₂ promedio máximo 3 horas en el Lag 0, se presentó aumentos en la mortalidad más pequeños para todas las edades, los cuales fueron de 8,79% (IC95%: -12,9%; 35,9%), 4,67% (IC95%: -19,4%; 36%) y 6,21% (IC95%: -11,1%; 27%), respectivamente.

Al utilizar modelos de dos contaminantes la combinación que más genero efecto en la mortalidad fue la combinación de SO₂ con PM₁₀, donde por un incremento de 5,8 ppb en el promedio máximo 3 horas de SO₂ sumado a un aumento de 10 µg/m³ en el promedio diario de PM₁₀, producen un incremento en la mortalidad para todas las edades en un 11,54% (IC95%: -8,03%; 35,2%). Se concluye que para las disritmias el SO₂ es el contaminante que más aumentó la mortalidad, señalando que ninguno de los porcentajes de cambio en el riesgo fue estadísticamente significativo (Figura 4).

Figura 4. Porcentaje de cambio en el riesgo en la mortalidad por disritmías, en todas las edades y mayores de 65 años, relacionada con la exposición a contaminantes criterio en la localidad de Tunjuelito, 2009 - 2014.



Fuente: El autor.

Enfermedades Cerebrovasculares (CRB): A pesar de que ningún valor fue estadísticamente significativo, se pudo evidenciar que en el día del deceso (Lag 0) en todas las edades se presentó un incremento en la mortalidad por exposición a PM_{2.5} y O₃ máximo

horario, donde por un aumento de 13,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio diario de $\text{PM}_{2.5}$ y un incremento de 13,3 ppb en el promedio máximo horario de O_3 , la mortalidad por esta causa aumenta en 5,26% (IC95%: -28,1%; 54,2%) y 5,74% (IC95%: -22%; 43,3%), respectivamente (Tabla 4).

Accidente Cerebrovascular (STROKE): Se observó que por un aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el promedio diario de PM_{10} y un incremento de 0,9 ppm en el promedio máximo 8 horas de CO, la mortalidad aumento en un 0,26% (IC95%: -52,9%; 113,5%) para todas las edades, el cual no fue estadísticamente significativo (Tabla 4).

Tabla 4. Porcentaje de cambio en el riesgo por mortalidad para enfermedades cerebrovasculares (CRB) e Infarto Cerebral (STROKE) para todas las edades en la localidad de Tunjuelito, 2009 – 2014.

Contaminante	Enfermedad	Lag o combinación con contaminante	RR	D.E	ICI	ICS	%CR
$\text{PM}_{2.5}$	CRB	Lag 0	1,052	0,20	0,77	1,29	5,26
O_3 Máximo h	CRB	Lag 0	1,057	0,16	0,77	1,43	5,73
PM_{10}	STROKE	CO Máximo 8h	1,002	0,38	0,47	2,13	0,26

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.

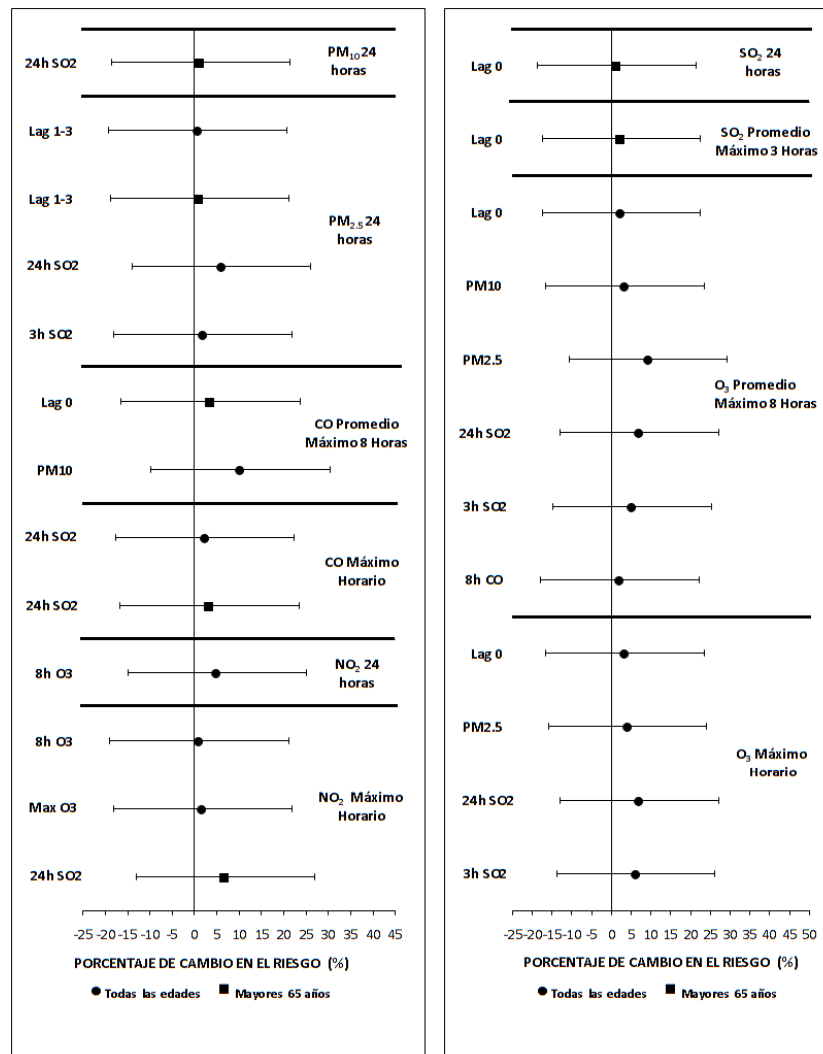
Mortalidad Respiratoria

El mayor efecto en la mortalidad se observó con la exposición a CO en el Lag 0 en el grupo de mayores de 65 años, puesto que, por un aumento de 0,5 ppm en el promedio máximo 8 horas de dicho contaminante, la mortalidad por enfermedades respiratorias se incrementa en un 3,60% (IC95%: -11,8%; 21,7%). A su vez, la exposición a O_3 Máximo horario (Lag 0) para todas las edades, SO_2 promedio máximo 3 horas (Lag 0) en los mayores de 65 años y $\text{PM}_{2.5}$ (Lag 1-3) también para los mayores de 65 años, hizo incrementar la mortalidad en un 3,42% (IC95%: -14,6%; 25,2%), 2,53% (IC95%: -12,3%; 19,8%) y 1,07% (IC95%: -28,66%; 43,1%), respectivamente.

Al utilizar modelos de dos contaminantes, la combinación que más generó efecto en el porcentaje de cambio en el riesgo fue entre el CO y el PM_{10} , debido a que, por un aumento de 0,5 ppm en el promedio máximo 8 horas de CO y un incremento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el promedio diario de PM_{10} , la mortalidad por enfermedades respiratorias aumento en un 10,29% (IC95%: -5,06%; 28,1%) para todas las edades. En otras combinaciones el porcentaje de cambio en el riesgo para todas las edades fue de 9,31% (IC95%: -17,08%; 44,1%) para O_3 promedio máximo 8 horas mas $\text{PM}_{2.5}$, 6,93% (IC95%: -18,3%; 40,05%) para NO_2 máximo horario más SO_2 promedio diario, 6,08% (IC95%: -24,6%; 49,4%) para $\text{PM}_{2.5}$ más SO_2 promedio diario y por ultimo 1,35% (IC95%: -8,8%;12,7%) para PM_{10} mas SO_2 , afectando en su mayoría todas las edades. Es importante aclarar que, a pesar de que hubo

un efecto en el porcentaje de cambio en el riesgo, ninguno fue estadísticamente significativo (Figura 5).

Figura 5. Porcentaje de cambio en el riesgo en la mortalidad respiratoria, en todas las edades y mayores de 65 años, relacionada con la exposición a contaminantes criterio en la localidad de Tunjuelito, 2009 - 2014.



Fuente: El autor.

Dentro de las enfermedades respiratorias se observaron efectos en patologías específicas tales como infecciones respiratorias de las vías inferiores (LRI) y Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC), las cuales se presentan a continuación:

Infección respiratoria de las vías inferiores (LRI): Se observó que por un aumento de 0,9 ppm en el promedio máximo horario de CO en el Lag 0, la mortalidad por LRI aumentó en un 10,4% (IC95%: -7,4%; 31,7%) en todas las edades. Por otro lado, en cuanto al efecto combinado, el mayor porcentaje de cambio en el riesgo estuvo asociado con el CO y O₃, ya

que por un aumento de 0,5 ppm en el promedio máximo 8 horas de CO más el incremento de 10,6 ppb de O₃ en el promedio máximo 8 horas, la mortalidad aumentó en un 6,83% (IC95%: -11,3%; 28,8%) para todas las edades; cabe resaltar que ningún porcentaje de cambio en el riesgo fue estadísticamente significativo (Tabla 5).

Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC): Se observó que por un aumento de 13,6 µg/m³ en el promedio diario de PM_{2.5} en el Lag 2, la mortalidad por EPOC aumentó en un 5,24% (IC95%: -6,64%; 18,6%) en todas las edades. Utilizando los modelos de múltiples contaminantes, se presenció que por un aumento de 0,5 ppm en el promedio máximo 8 horas de CO más un incremento de 13,6 µg/m³ en el promedio diario de PM_{2.5} la mortalidad aumentó en un 4,87% (IC95%: -15,11%; 29,5%) para todas las edades. Se destaca que ningún porcentaje fue estadísticamente significativo (Tabla 5).

Tabla 5. Porcentaje de cambio en el riesgo por mortalidad para enfermedades por Infecciones Respiratorias de las Vías Inferiores (LRI) y Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) en todas las edades, en la localidad de Tunjuelito. Periodo 2009 – 2014.

Contaminante	Enfermedad	Lag o combinación con contaminante	RR	D.E	ICI	ICS	%CR
CO Máximo 8h	LRI	Lag 0	1,104	0,09	0,92	1,31	10,4
CO Máximo 8h	LRI	O ₃ Promedio Máximo 8h	1,068	0,10	0,88	1,28	6,82
PM _{2.5}	EPOC	Lag 2	1,052	0,06	0,93	1,18	5,24
CO Máximo 8h	EPOC	PM _{2.5}	1,048	0,10	0,84	1,29	4,87

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.

En general, es importante calcular el cambio en el riesgo por mortalidad en las diferentes enfermedades, ya que este valor indica que se está presentado un efecto cuando las personas se exponen a una concentración “X” de cualquier contaminante criterio, a su vez, permite dimensionar la probabilidad de que se presente una afectación mayor si estos contaminantes aumentan sus concentraciones. Por otro lado, se evidencia que toda la mortalidad por las diferentes enfermedades presenta un mayor efecto o cambio en el riesgo cuando están combinados con otros contaminantes, al mismo tiempo, para la mortalidad por enfermedades cardiovasculares y respiratorias se destaca que el NO₂ y el SO₂ como contaminantes individuales no generan tanto efecto, comparado cuando se encuentra combinados con otros contaminantes. Finalmente, el grupo más afectado siempre fue el de los mayores de 65 años.

DISCUSIÓN

A pesar de que no hubo efectos estadísticamente significativos se evidenció que los contaminantes criterio evaluados en el presente estudio, están relacionados con la mortalidad cardiopulmonar, para diferentes periodos de exposición. Esto se evidencia en el

estudio de Gouveia *et al* (18), que utilizó una metodología similar a la de este caso de estudio, donde se encontró una asociación positiva entre los contaminantes atmosféricos y la mortalidad cardiopulmonar en la ciudad de Sao Paulo; a un nivel general, la concentración de los contaminantes depende de la distribución industrial y poblacional que tienen las ciudades (19). Para este caso, Bogotá y Sao paulo presentan poblaciones considerables, con sectores industrializados fuertes que influyen en la concentración de los contaminantes, por esta razón los resultados encontrados pueden tener similitudes y ocasionar en la población estudiada un riesgo más alto de sufrir muertes por estas enfermedades.

Para la mortalidad por causa cardiovascular, en estudios realizados en Sao Paulo (Brasil) y Beijing (China), se reportó por parte de Gouveia *et al* (18) y Zhang *et al*(20), aumentos de 6% y 7,52% por la exposición a PM₁₀, los cuales son más altos en comparación con el registrado en el presente trabajo (4,39%). En contraste, otros estudios han reportado valores más pequeños, como por ejemplo el realizado en la ciudad de Taiwán, donde se presentó un cambio en el riesgo de 1,19% (21); dentro de la revisión bibliográfica hecha por Dockery *et al* (22), se observó que un estudio realizado por el Departamento de Salud sobre Enfermedades Cardiovasculares y Contaminación del Aire en ciudades del Reino Unido, presentó un cambio en el riesgo de 1,8%. Finalmente, en otros dos estudios multi-ciudad que se llevaron a cabo en ciudades de Estados Unidos y Europa, se encontró que al aumentar 20 µg/m³ los niveles de este contaminante, se incrementó el riesgo en un 0,68% (23) y 1,5% (22), respectivamente. Estos resultados difieren un poco en cuanto a los resultados del presente estudio, ya que los valores reflejan un porcentaje menor.

Continuando, para el PM_{2.5}, el presente trabajo evidenció un aumento de 11,85% en la mortalidad cardiovascular, mayor al registrado por otros investigadores como Ostro *et al* (24) y Schwartz *et al* (25), que obtuvieron cambios en el riesgo de 0,6%, 0,85%, por otro lado, Dockery *et al* (22) presento dos cambios en el riesgo de 1,3% y 1,4% para dos estudios multi – ciudad de Estados Unidos y Reino Unido, respectivamente. En cuanto al CO, se evidenció para este trabajo un porcentaje de cambio en el riesgo de 2,82%, valor cercano al que se obtuvo en un estudio realizado en Taiwán reportado por Liang *et al* (21), donde se incrementó el riesgo en un 1,41%. Otros estudios realizados en Brasil y en ciudades canadienses, mostraron porcentajes de cambio en el riesgo más grandes de 4% (18) y 5,8% (26), comparados con los de este trabajo. El O₃ registro un cambio en el porcentaje de riesgo con un valor de 11,56%. Estudios realizados por Vanos *et al* (26) y Schwartz *et al* (27) reportaron valores de 5,8% y 1,02%, más bajos con respecto al hallado en el presente trabajo.

Para la mortalidad por enfermedades respiratorias, la exposición a PM_{2.5} se relacionó con un aumento del 1,07%, que comparado con los resultados de Ostro *et al* (24), Schwartz *et al* (25) y Dockery *et al* (22), se encuentran en un rango similar, con valores de 2,2% ,1,68% y 0,6%, respectivamente. El CO mostró un cambio en el porcentaje del riesgo de 3,6%, que al ser comparado con un estudio realizado en Beijín, encontró un valor de 0,89% (28), por debajo del encontrado en el presente trabajo; en un estudio realizado en 20 ciudades canadienses el valor estuvo muy por encima, generando un cambio en el riesgo de 10,7%

(26). Para el SO_2 , se presenci6 un cambio en el riesgo de 2,53% por un aumento de 5,8 ppb. De acuerdo con este resultado, se encontr6 efectos m6s bajos en diferentes estudios, por ejemplo, con lo reportado por Venners *et al* (29) se hall6 que al aumentar $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ los niveles de SO_2 se incrementa el riesgo en un 1,11%; Chen *et al* (30) encontraron que al aumentar $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ los niveles de SO_2 se incrementa el riesgo en un 1,25% y, por 6ltimo, Schwartz *et al* (27) evidenci6 que al aumentar $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ las concentraciones de SO_2 se increment6 el riesgo en un 1,05%. En contraste, en un estudio realizado en Vancouver (Canad6), el porcentaje de cambio en el riesgo estuvo m6s lejano, siendo este de 5,6% (31). El O_3 , tambi6n estuvo asociado con la mortalidad por enfermedades respiratorias reportando un valor de 3,42%, que al ser comparado con los estudios de Liang *et al* (21) y Schwartz *et al* (27), mostr6 valores levemente cercanos, ya que se registraron cambios en el riesgo de 1,28% y 1,06%, respectivamente.

Al generar modelos de dos contaminantes con la mortalidad para enfermedades cardiopulmonares, se pudo establecer que el SO_2 present6 mayores efectos al estar combinado, que cuando se analiza de forma individual. El estudio realizado por Liang *et al* (21) mostr6 que la combinaci6n SO_2 con CO aument6 la mortalidad cardiovascular en un 1,24% el cual tuvo un valor con menor efecto a comparaci6n de 6ste estudio que fue de 3,04%. Sin embargo, juntos hicieron aumentar la mortalidad para las enfermedades cardiovasculares. En cuanto a mortalidad respiratoria, se encontr6 que el PM_{10} y el NO_2 con el SO_2 generan un aumento en la mortalidad; esto difiere con respecto al estudio realizado por Zhang *et al* (20) en la ciudad de Beijing (China), donde se evidenci6 que la combinaci6n PM_{10} y SO_2 gener6 una disminuci6n de la mortalidad; Chen *et al* (32) tambi6n registraron una disminuci6n en el riesgo de mortalidad, pero al combinar NO_2 con SO_2 ; finalmente Zhang *et al* (16) encontraron que la combinaci6n NO_2 con SO_2 genera un aumento en la mortalidad, similar a los hallazgos del presente trabajo.

Es importante se6alar posibles razones por las cuales el porcentaje de cambio en el riesgo en la mortalidad cardiopulmonar para la localidad de Tunjuelito, pueden variar o ser similares a lo registrado en otros estudios a nivel mundial. La primera raz6n se puede relacionar con las caracter6sticas propias de las ciudades, tales como el di6metro aerodin6mico y composici6n qu6mica y biol6gica de las part6culas, la ubicaci6n con respecto al eje ecuatorial, la altitud sobre el nivel del mar y las condiciones meteorol6gicas, que influyen en la mortalidad, la duraci6n de los periodos de inversi6n t6rmica y por ende en la exposici6n (14). En segunda instancia, se puede deber a los modelos estad6sticos utilizados, ya que con el paso del tiempo, se han utilizado t6cnicas de modelaci6n m6s rigurosas para estimar mejor las asociaciones de contaminaci6n-mortalidad mientras se controlan otras covariables dependientes del tiempo que sirven como posibles factores de confusi6n (22), por ende, en ciertos modelos la estacionalidad no es igual, los a6os de datos que fueron analizados variaron, adem6s, en algunos estudios evaluaron variables socioecon6micas o estaciones clim6ticas, que no fueron abordadas en el presente trabajo. Finalmente, el comportamiento que tengan los contaminantes en las diferentes ciudades influye en los resultados, puesto que algunas ciudades presentan niveles de contaminaci6n m6s altos, como por ejemplo los registrados en China.

Aparte de esto, el presente estudio evidenció que los niveles de contaminación del aire en la localidad de Tunjuelito están asociados con la mortalidad de personas mayores de 65 años por enfermedades cardiopulmonares. Comparando estos resultados, se observa que en estudios hechos en Sao Paulo, Roma, Beijing, Viena, Taiwán y California también se presenta esta condición (18)(33)(20)(21)(24), citando que la contaminación del aire puede generar un riesgo mayor de morir a causa de las diferentes enfermedades cardiopulmonares en estas edades. Es necesario tener esto muy en cuenta, ya que en la localidad de Tunjuelito se observa un aumento progresivo del grupo de adulto maduro y persona mayor (8).

El presente trabajo encontró un aumento en la mortalidad por Accidente Cerebrovascular (STROKE), donde se evidenció un cambio en el riesgo de 0,26% cuando se combinó el PM₁₀ con el CO. Estudios realizados por Kan *et al* (34), Hong *et al* (35) y Shah *et al* (36) reportaron cambios en el riesgo para PM₁₀ de 1,008%, 1,03% y 1,003% y para el CO observaron cambios en el riesgo con valores de 1,06% (35) y 1,01% (36), respectivamente, que son relativamente similares a lo encontrado en el presente estudio. A diferencia de esto, en un solo caso de estudio con bajos niveles de contaminación se observó que para el PM₁₀ hubo un cambio alto en el porcentaje del riesgo, siendo del 10% (37). En conclusión, los diferentes estudios evidencian que los contaminantes de forma individual están asociados a la mortalidad por esta enfermedad, sin embargo, al observar en este estudio un porcentaje de riesgo más bajo cuando se combinan estos dos contaminantes, puede indicar que el riesgo disminuye, incluso en una ciudad con bajos niveles de contaminación del aire (37).

En general, se observó un efecto en la mortalidad cardiovascular y respiratoria por los diferentes contaminantes, utilizando tanto modelos de retraso simple como modelos combinados. A pesar de que los niveles de contaminación no son tan altos, se presenta una clara afectación de los contaminantes en la población expuesta, tal vez, parte de este efecto puede deberse a problemáticas como el alto tráfico vehicular, ya que, la variación de las características físicas y composiciones químicas de los combustibles utilizados en los vehículos pueden generar partículas en los procesos de combustión, como las partículas de escape de diésel, evidenciando efectos adversos para la salud, a diferencia de las emisiones generadas cuando no hay combustión (28). Además, las condiciones meteorológicas, los tipos de carreteras, la densidad de población, las industrias, la infraestructura, las fuentes de contaminantes atmosféricos, así como la calidad de las medidas de control de los vehículos y los perfiles de exposición de las personas (28), que se presentan en la localidad, pueden influir notablemente en los eventos de mortalidad.

Las fortalezas del estudio fueron: **1.** El hecho de tener una base casi completa, con registros para todos los contaminantes y variables meteorológicas proporcionan menor sesgo en las estimaciones, además de suministrar una mejor visión de cómo los contaminantes influyen en la salud de las personas. **2.** El uso de Modelos de Regresión Poisson proporciona un

control de variables confusoras, además de permitir que el método se pueda aplicar de una forma protocolizada y estandarizada que facilite la comparación de resultados y la realización de un meta-análisis (38).

Las posibles limitaciones del estudio fueron: **1.** Los datos suministrados de contaminantes exteriores se registraron en una estación fija ubicada en dentro de la localidad, por dicho motivo, la estación no puede registrar en su totalidad las emisiones en carreteras principales o fuentes industriales, lo cual, puede subestimar el nivel de exposición a los contaminantes en los entornos de vida y de trabajo. **2.** Se destaca que las enfermedades que se tuvieron en cuenta para el estudio están limitadas por los determinantes o factores multicausales de la salud, es decir, cuando estos factores que influyen en la salud individual empiezan a interactuar en diferentes niveles de organización, el estado de la salud de la población se puede ver beneficiada o afectada. Los determinantes o factores que influyen son los conductuales que hacen referencia a los hábitos, costumbres, creencias, etc., que tienen las personas, los biológicos que son los que trae cada persona como los genes, la edad, el género, etc., los sociales que hacen referencia a la situación financiera de la persona, el trabajo que tenga, las condiciones en las que vive, etc., y finalmente las ambientales en la cual se manifiesta la relación armónica de la naturaleza y el cuerpo de modo que se crean entornos favorables con el aire, el agua y la tierra (39). En el estudio se tuvo en cuenta las condiciones y la calidad que tiene el aire en la localidad como un determinante ambiental que puede estar influyendo en la exacerbación de las enfermedades causando el deceso, sin embargo, aunque se adoptó como criterio de inclusión para la mortalidad que el deceso fuera de personas que residían en la localidad de Tunjuelito en el momento de la muerte, no fue posible evaluar los otros determinantes debido a que el modelo utilizado no permite hacer un análisis en una dimensión más detallada lo que puede modificar la vulnerabilidad de las personas a los efectos de la contaminación del aire (14)(28) **3.** El diligenciamiento de los certificados de defunción por parte de personal no médico, podría ocultar el verdadero estado patológico que llevó a la muerte, lo cual podría acarrear un sesgo de información en los datos(14).

En conclusión, a pesar de que los resultados no fueron estadísticamente significativos no implica que los resultados estén mal, de hecho, esta dentro de lo normal, puesto que muchos de los artículos revisados se evidenció la misma condición de que no fueran significativos, mostrando que hay un efecto y que los diferentes contaminantes criterio sí están asociados positivamente a la mortalidad cardiopulmonar como pasa en este artículo, además, se observó que el efecto combinado de los contaminantes se destaca más que cuando están en estado individual. Los resultados podrían mejorar si se aumentara el tamaño de la muestra, es decir, si tuviéramos una mayor cantidad de decesos el modelo captaría mejor el efecto y este podría dar significativo, por otro lado, se podría proponer un cambio en el tipo de diseño por uno de cohorte, que consiste en seleccionar a un grupo expuesto y a un grupo no expuesto y ambos se siguen en el tiempo para comparar la ocurrencia de algún evento de interés. Este cambio conlleva sus pros y sus contras, uno de sus pros es que se le hace un seguimiento al individuo por medio de entrevistas o encuestas para obtener información más detallada, y en sus contras encontramos que pueden ser muy

costosos y requieren de mucho tiempo para poderse llevar a cabo, además, el seguimiento puede ser difícil lo cual generaría sesgos en el modelo (40).

Estos resultados obtenidos pueden ayudar a la Secretaria Distrital de Ambiente a establecer, promover y fortalecer las estrategias para prevenir y minimizar la generación de emisiones de contaminantes a la atmósfera, por medio de los programas ACERCAR Industria y ACERCAR Transporte, y a su vez, los programas de mantenimiento vehicular, reducción de emisiones y mejoramiento de combustibles (3). Estos resultados también pueden ayudar a la Secretaria Distrital de Salud a tomar decisiones frente a las problemáticas de salud que se presentan en la localidad de Tunjuelito, implementando actividades promoción y prevención teniendo como objetivo principal a la población vulnerable mayores de 65 años.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece la colaboración de la Secretaria Distrital de Ambiente (SDA), Secretaria Distrital de Salud (SDS) y al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) por suministrar la información para la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

1. WHO. Guías de calidad del aire de la OMS. 2005;22.
2. Tyler N, Acevedo J, Bocarejo J, Velásquez J. Marco Teórico de contaminación atmosférica en Colombia.
3. Rojas Y. N. Aire y problemas ambientales de Bogotá. Foro Nac Ambient Doc Políticas Públicas. 2009;18(Problemas ambientales de Bogotá):12.
4. Alcaldía Mayor de Bogotá. Política Distrital de Salud Ambiental para Bogotá D.C. Línea Interv Aire, Ruido y Radiac Electromagnética. 2011;300–70.
5. Ambiente M, Transporte M. CONPES 3344. 2005;1–412.
6. Felipe Franco J, Yesid Rojas N, Lucia Sarmiento O, Jorge Hernandez L, Zapata E, Maldonado A, et al. Particulate matter concentrations at public schools located near major urban roads in Bogota, Colombia: a pilot study. Rev Fac Ing Antioquia. 2009;(49):101–11.
7. Ambiente M. Diagnóstico Nacional de Salud Ambiental. 2012;1–368.
8. Beltran G, Calderón J, Ortiz H. Diagnóstico Local con Participacion Social 2014 (Localidad 6). 2014;1–129.
9. García W. Dinámica de la construcción por usos (Localidad Tunjuelito). 2013;104.
10. Arango CA, Aragón M, Alzate AM. Proyecto Gestión Ambiental en la Industria de Curtiembre en Colombia SISTEMA DE REFERENCIACIÓN. Cent Nac Prod Más Limpia. 2004;1–33.
11. Ramirez Gomez JA. Evaluación de la gestión integral de residuos sólidos en las curtiembres de san benito. 2014;
12. Conde J, Naranjo C, Pérez N, Leon A. Diagnostico Local Con Participación Social 2009 - 2010 (Localidad Tunjuelito). 2011;1–130.
13. Borja aburto VH. Estudios ecológicos. Scielo. 2000;42(6).
14. Camilo Blanco-Becerra L, Miranda-Soberanis V, Hernandez-Cadena L, Barraza-Villarreal A, Junger W, Hurtado-Diaz M, et al. Effect of particulate matter less than 10 mu m (PM10) on mortality in Bogota, Colombia: a time-series analysis, 1998-

2006. *Salud Publica Mex.* 2014;56(4):363–70.
15. Rojas N, Galvis B. Relación entre PM 2.5 y PM 10 en la ciudad de Bogotá. *Rev Ing.* 2005;54–60.
 16. Zhang F, Li L, Krafft T, Lv J, Wang W, Pei D. Study on the association between ambient air pollution and daily cardiovascular and respiratory mortality in an urban district of Beijing. *Int J Environ Res Public Health.* 2011;8(6):2109–23.
 17. Alcaldía Mayor de Bogotá. Resolución 610 de 2010.
 18. Gouveia N, Fletcher T, Gouveia N, Fletcher T. Time series analysis of air pollution and mortality : effects by cause , age and socioeconomic status Time series analysis of air pollution and mortality : effects by cause , age and socioeconomic status. 2000;(June 2009):750–5.
 19. Weitzenfeld H. Contaminación atmosférica y salud en América Latina. *Bol Sanit Panam.* 1992;112(2):97–109.
 20. Zhang Y, Guo Y, Li G, Zhou J, Jin X, Wang W, et al. The spatial characteristics of ambient particulate matter and daily mortality in the urban area of Beijing, China. *Sci Total Environ.* 2012;435–436:14–20.
 21. Liang WM, Wei HY, Kuo HW. Association between daily mortality from respiratory and cardiovascular diseases and air pollution in Taiwan. *Environ Res.* 2009;109(1):51–8.
 22. Pope III CA, Dockery DD. Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. *J Air Waste Manage Assoc.* 2006;56(March):709–42.
 23. SAMET J, DOMINICI F, CURRIERO F, COURSAI I, ZEGER S. FINE PARTICULATE AIR POLLUTION AND MORTALITY IN 20 U.S. CITIES, 1987–1994. *Massachusetts Med Soc.* 2000;343:785–91.
 24. Ostro B, Broadwin R, Green S, Feng WY, Lipsett M. Fine particulate air pollution and mortality in nine California counties: Results from CALFINE. *Environ Health Perspect.* 2006;114(1):29–33.
 25. Zanobetti A, Schwartz J. The effect of fine and coarse particulate air pollution on mortality: A national analysis. *Environ Health Perspect.* 2009;117(6):898–903.
 26. Vanos JK, Hebbern C, Cakmak S. Risk assessment for cardiovascular and respiratory mortality due to air pollution and synoptic meteorology in 10 Canadian cities. *Environ Pollut.* 2014;185:322–32.
 27. Zmirow D, Schwartz J, Saez M, Zanobetti A, Touloumi G, Moullec Y, et al. Time Series Analysis of Air Pollution and Cause. 1998. p. 1–9.
 28. Yang Y, Cao Y, Li W, Li R, Wang M, Wu Z, et al. Multi-site time series analysis of acute effects of multiple air pollutants on respiratory mortality: A population-based study in Beijing, China. *Sci Total Environ.* 2015;508:178–87.
 29. Venners SA, Wang B, Peng Z, Xu Y, Wang L, Xu X. Particulate matter, sulfur dioxide, and daily mortality in Chongqing, China. *Environ Health Perspect.* 2003;111(4):562–7.
 30. Chen R, Samoli E, Wong CM, Huang W, Wang Z, Chen B, et al. Associations between short-term exposure to sulfur dioxide and mortality in 17 Chinese cities: The China Air Pollution and Health Effects Study (CAPES). *Environ Int.* 2012;45(1):32–8.
 31. Villeneuve PJ, Burnett RT, Shi Y, Krewski D, Goldberg MS, Hertzman C, et al. A time-series study of air pollution, socioeconomic status, and mortality in Vancouver, Canada. *J Expo Anal Environ Epidemiol.* 2003;13(6):427–35.
 32. Chen R, Samoli E, Wong CM, Huang W, Wang Z, Chen B, et al. Associations between short-term exposure to nitrogen dioxide and mortality in 17 Chinese cities: The China Air Pollution and Health Effects Study (CAPES). *Environ Int.* 2012;45(1):32–8.

33. Morgani G, Corbett S, Bec JW, Lewis P. Air Pollution and Daily Mortality in Roma. 1997;11(November 1993):759–64.
34. Kan H, Jia J, Chen B. Acute Stroke Mortality and Air Pollution: New Evidence from Shanghai, China. *J Occup Heal*. 2003;45:321–3.
35. Hong Y-C, Lee J-T, Kim H, Kwon H-J. Air Pollution: A New Risk Factor in Ischemic Stroke Mortality. *Stroke*. 2002;33(9):2165–9.
36. Shah AS V, Lee KK, McAllister DA, Hunter A, Nair H, Whiteley W, et al. Short term exposure to air pollution and stroke: systematic review and meta-analysis. *BMJ*. 2015;350(7):h1295.
37. Amancio CT, Nascimento LF. Environmental pollution and deaths due to stroke in a city with low levels of air pollution: ecological time series study. *Sao Paulo Med J*. 2014;132(6):349–54.
38. Sáez Zafra M, Pérez-Hoyos S, Tobías Garcés A, Saurina C, Barceló MA, Ballester Díez F. Métodos de series temporales en los estudios epidemiológicos sobre contaminación atmosférica. *Rev española salud pública*, ISSN-e 1135-5727, Vol 73, Nº 2, 1999, págs 133-143. 1999;73(2):133–43.
39. Salud y Protección Social M. Determinantes de salud. Enfoque multicausal. *Atlas la Salud*. 2006;26:31–4.
40. Lazcano-Ponce E, Fernández E, Salazar-Martínez E, Hernández-Avila M. Estudios de cohorte. Metodología, sesgos y aplicación. *Salud Publica Mex*. 2000;42(3):230–41.