

EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS A CORTO PLAZO DE LOS CONTAMINANTES  
CRITERIO DEL AIRE SOBRE LA MORTALIDAD CARDIOPULMONAR EN EL  
PERIODO 2001-2007 EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA (SANTANDER).



DIANA CAROLINA AGUILLÓN GÓMEZ



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
VILLAVICENCIO

2019

EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS A CORTO PLAZO DE LOS CONTAMINANTES  
CRITERIO DEL AIRE SOBRE LA MORTALIDAD CARDIOPULMONAR EN EL  
PERIODO 2001-2007 EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA (SANTANDER).

DIANA CAROLINA AGUILLÓN GÓMEZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Ingeniero ambiental

Director

LUIS CAMILO BLANCO BECERRA

Ingeniero ambiental y Sanitario

MSC. En Salud Ambiental

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
VILLAVICENCIO

2019

**Autoridades Académicas**

**P. José Gabriel MESA ANGULO, O.P**

Rector General

**P. Eduardo GONZÁLEZ GIL, O.P**

Vicerrector Académico General

**P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O.P.**

Rector Sede Villavicencio

**P. Rodrigo GARCÍA JARA, O.P.**

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

**Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN**

Secretaria de División Sede Villavicencio

**Ing. YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN**

Decana Facultad De Ingeniería Ambiental

## Tabla de contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	7
<b>Abstract</b> .....	8
<b>Introducción</b> .....	1
<b>1. Objetivos</b> .....	4
<i>1.1. Objetivo General</i> .....	4
<i>1.2. Objetivos Específicos</i> .....	4
<b>2. Marco Referencial</b> .....	5
<i>2.1. Marco Teórico</i> .....	5
<i>2.2. Marco Conceptual</i> .....	7
<i>2.3. Marco Legal</i> .....	8
<b>3. Metodología</b> .....	9
<i>3.1 Etapa I, Descripción de las concentraciones de contaminantes criterio del aire (PM10, CO, SO2, NO2, O3)</i> .....	9
<i>3.2 Etapa II, Caracterización de la mortalidad por enfermedades cardiopulmonares.</i> .....	9
<i>3.3 Etapa III, Modelación y análisis de la mortalidad en función de los efectos inmediatos y diferidos (0-5 días) de la concentración de los contaminantes criterio.</i> .....	10
<b>4 Resultados</b> .....	12
<i>4.2 Capítulo 2, Caracterización de la mortalidad por enfermedades cardiopulmonares.</i> .....	13
<i>4.3 Capítulo 3. Modelación y análisis de la mortalidad en función de los efectos inmediatos y diferidos (0-5 días) de la concentración de los contaminantes criterio</i> .....	14
<b>5 Discusión de resultados y recomendaciones</b> .....	22
<b>6 Impacto social</b> .....	25
<b>7 Conclusiones</b> .....	26
<i>7.1 Recomendaciones</i> .....	26
<b>Referencias</b> .....	27
<b>Anexos</b> .....	32

## Lista de Figuras

Figura 1.Diagrama metodología, elaborado a través del software libre Lucydchart, por Diana Carolina Aguillón Gómez, 2019 .....	11
Figura 2.Porcentaje de cambio en el riesgo para la mortalidad Cardiopulmonar(CP) en Bucaramanga 2001-2007, elaborado por Diana Carolina Aguillón Gómez, 2019.....	15
Figura 3.Porcentaje de cambio en el riesgo para la mortalidad Cardiovascular (CV) en Bucaramanga 2001-2007, elaborado por Diana Carolina Aguillón Gómez, 2019.....	15
Figura 4.Porcentaje de cambio en el riesgo por la mortalidad respiratoria (RP) en Bucaramanga 2001-2007, elaborado por Diana Carolina Aguillón Gómez, 2019.....	16

**Lista De Tablas**

Tabla 1. Estadística de los contaminantes .....	12
Tabla 2. Estadística de la mortalidad .....	13
Tabla 3. Cambio en el riesgo Infarto Agudo de Miocardio (IAM) .....	17
Tabla 4. Cambio en el riesgo Disrimias (DR) .....	17
Tabla 5. Cambio en el riesgo Enfermedad Cerebrovascular (CRB). .....	18
Tabla 6. Cambio en el riesgo Stroke .....	19
Tabla 7. Cambio en el riesgo Infección de las vías áreas respiratorias inferiores (LRI)..	19
Tabla 8. Cambio en el riesgo Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC). .....	20

## Resumen

Se realizó un estudio ecológico de series de tiempo teniendo como objetivo evaluar si existe efectos a corto plazo de los contaminantes criterio del aire sobre la mortalidad cardiopulmonar de la ciudad de Bucaramanga (Santander), se aplicó la regresión de Poisson mixto a través del software STATA 11.0, usando como información base los datos recolectados a partir de las 5 estaciones de monitoreo pertenecientes al Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire de la ciudad, esto para el caso de los contaminantes criterio y la variables meteorológicas; los datos de mortalidad fueron suministrados por la secretaria de salud de Bucaramanga, el periodo estudiado fue 2001-2007, se aplicó estadística descriptiva para las dos bases obteniendo datos como la media, desviación estándar, máximos, mínimos, percentiles(25 y75). Se halló el Riesgo Relativo a partir del software por cada uno de los contaminantes y sus diferentes mezclas relacionándolos con las diferentes enfermedades y sus grupos etarios, además de los efectos inmediatos y sus días diferidos (1-5). De lo anterior se obtuvo como resultado que ninguna de las enfermedades tuvo relación estadística con las mezclas de los contaminantes, pero si existe relación individual, en mayor medida con el monóxido de carbono (CO), además se observó que para la mortalidad cardiopulmonar con un día de retraso (Lag 1) se presentó un cambio en el riesgo de 4,34% y por un aumento de 5 ppb en el promedio 24 horas de NO<sub>2</sub> en el grupo de los mayores de 65 años se evidenció un riesgo de 2,55%. El estudio a partir de los resultados permite concluir que si existe una asociación de los contaminantes criterio del aire individualmente como determinantes de la salud cardiopulmonar de Bucaramanga.

**Palabras clave:** contaminantes criterio, mortalidad cardiopulmonar, Riesgo Relativo, series de tiempo, calidad del aire.

## Abstract

An ecological study of time series was carried out with the objective of assessing whether there are short-term effects of air pollutants on cardiopulmonary mortality in the city of Bucaramanga (Santander), the mixed poisson regression was applied through the STATA software 11.0, using as base information the data collected from the 5 monitoring stations belonging to the City's Air Quality Monitoring System, this in the case of criteria pollutants and meteorological variables; Mortality data were provided by the Secretary of Health of Bucaramanga, the period studied was 2001-2007, descriptive statistics were applied for the two bases, obtaining data such as mean, standard deviation, maximum, minimum, percentiles (25 and 75). The Relative Risk was found from the software for each of the pollutants and their different mixtures relating them to the different diseases and their age groups, in addition to the immediate effects and their deferred days (1-5). From the above, it was obtained that none of the diseases had a statistical relationship with the mixtures of the contaminants, but if there is an individual relationship, to a greater extent with carbon monoxide (CO), it was also observed that for cardiopulmonary mortality with a day of delay (Lag 1) a change in the risk of 4,34% was observed and by a 5 ppb increase in the average 24 hours of NO<sub>2</sub> in the group of those over 65 years of age a risk of 2,55% was evidenced. The study from the results allows us to conclude that if there is an association of air pollutants individually as determinants of cardiopulmonary health of Bucaramanga.

**Key words:** criteria pollutants, cardiopulmonary mortality, Relative Risk, time series, air quality.



## Introducción

A partir de la Revolución industrial que tuvo su inicio en el siglo XVIII se han evidenciado diversos episodios de gran preocupación para el área de la salud pública (Cantú Martínez, 1992), la exposición a contaminantes del aire como el ozono (O<sub>3</sub>) y, el material particulado (PM) se han asociado con incrementos en la mortalidad y las consultas hospitalarias por enfermedades respiratorias y cardiovascular (Brunekreef & Holgate , 2002). un ejemplo de esto es la tragedia de Londres en el año 1952 donde la ciudad fue cubierta por una niebla toxica (SMOG) durante un periodo de 4 días que tuvo como resultado un aumento en la mortalidad reportando 3500 a 4000 defunciones a causa de dicha contaminación, siendo este uno de los principales impulsores al desarrollo de estudios referentes a las afectaciones a la salud humana por los niveles de polución ambiental (Ballester Díez, Tenías , & Pérez Hoyos , 1999); la organización mundial de la salud(OMS) informa que en el año 2016 aproximadamente 15,2 millones de personas en el mundo fallecieron por afecciones como accidente cerebrovascular y cardiopatía isquémica siendo estas las principales causas de muerte desde el año 2001, además de esto la OMS presenta que para América Latina cada año mueren 35.000 personas por la contaminación del aire intraurbano, resaltando que por la misma causa se están perdiendo 276.000 años de vida (Organización Mundial de la Salud, 2018).

A partir del número de defunciones al año relacionados con la contaminación del aire, la mayor cifra la tienen países como Argentina, Brasil y México, y se encuentran seguidos por Perú, Colombia y Chile, existiendo para Colombia un promedio anual de PM<sub>10</sub> que excede los límites estipulados por las guías de la OMS, por lo que se ha convertido en uno de los problemas más relevantes, donde se espera reducir la carga de enfermedad ambiental que tienen la contaminación atmosférica como principal determinante . (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible , 2012)

En las principales ciudades de Colombia tales como Medellín, Bogotá, Cali, Barranquilla, Cartagena y Bucaramanga (Carranza Romero, y otros, 2018) es donde se genera el 41% del material contaminante del aire, de acuerdo a un informe generado por el IDEAM en el año 2012 (Pérez Cardenas , 2017), siendo la última mencionada la ciudad objeto de estudio.

Existen varios estudios realizados en el mundo referentes al tema, en países como China en la ciudad de Shenyang una investigación realizada por Guo, et al, encontraron que por un aumento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en las concentraciones medias de 8 días de  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{O}_3$  se incrementó la mortalidad resaltando a los mayores de 65 años como los más afectados. (Guo, y otros, 2018)

Para Colombia se han ejecutado varias investigaciones enfocadas a evaluar la relación de la contaminación atmosférica con las diferentes enfermedades cardiopulmonares tal es el caso de un estudio realizado en Engativá, una localidad de la ciudad de Bogotá, dicha investigación fue realizada por la Universidad Santo Tomas en el año 2016 donde Álvarez Soto encontró efecto por el aumento de las concentraciones de los contaminantes criterio, y sus diferentes mezclas, sobre la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC), el Infarto Cerebral y el infarto de miocardio (Álvarez Soto, 2016).

La ciudad de Bucaramanga es la capital del departamento de Santander, además cuenta con un área metropolitana que incluyen, Piedecuesta, Floridablanca, y Girón (Secretaria de Planeación- Municipio de Bucaramanga , 2014); según los datos proyectados por el DANE para 2001 la población total era de 498.972 habitantes y a 2007 de 512.818 (Departamento Administrativo Nacional de Estadística , 2009). Las principales actividades económicas desarrolladas en la ciudad se relacionan con el comercio, dentro de las que se encuentran la agricultura, ganadería, avicultura, y la producción industrial de calzado por lo que el transporte de carga pesada es requerido, además de esto otro factor a tener en cuenta es que allí se concentra el 69% de las actividades económicas, por lo que se concluye que la ciudad es el lugar de trabajo de gran parte de las personas residentes en el área metropolitana, sustentándose en un incremento en el tránsito vehicular debida a la población flotante y los desplazamientos diarios de la población (Secretaria de Planeación- Municipio de Bucaramanga , 2014) (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga , 2010).

Las emisiones contaminantes por fuentes móviles o fijas, complementadas con las variables meteorológicas afectan la calidad del aire y por ende la salud de la población, especialmente los más vulnerables como lo son los ancianos, niños, mujeres embarazadas

convirtiéndose en un problema de salud pública (Romero Placeres, Olite , & Álvarez Toste , 2006).

Para el presente estudio se recolectó la información a partir de la secretaria de salud de Bucaramanga sobre mortalidad cardiopulmonar en la ciudad, identificando los diferentes grupos etarios (1-5 años,6-14, 15-64, y mayores de 65 años) durante el periodo 2001-2007, además de esto a través de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) fueron suministrados los datos referentes a las concentraciones de los contaminantes criterio del aire ( $PM_{10}$ , CO,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$ ), durante el mismo periodo, los cuales han sido monitoreados a través de las cinco estaciones de monitoreo funcionales durante los años mencionados.(ANEXO 1.)

A partir de un estudio ecológico de series temporales se tuvo como objetivo evaluar los efectos de los contaminantes criterio a corto plazo sobre la mortalidad cardiopulmonar en la ciudad de Bucaramanga (Santander) durante los años 2001-2007

## **1. Objetivos**

### **1.1. Objetivo General.**

Evaluar los efectos de los contaminantes criterio a corto plazo sobre la mortalidad cardiopulmonar en la ciudad de Bucaramanga (Santander) durante los años 2001-2007.

### **1.2. Objetivos Específicos.**

- Describir el comportamiento de las concentraciones de contaminantes criterio ( $PM_{10}$ , CO,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$ ) en la ciudad de Bucaramanga durante los años 2001-2007.
- Caracterizar la mortalidad por enfermedades cardiopulmonares, durante los años 2001-2007, en diferentes grupos etarios en la ciudad de Bucaramanga.
- Modelar y analizar la mortalidad en función de los efectos inmediatos y diferidos (0-5 días) de la concentración de los contaminantes criterio.

## 2. Marco Referencial

### 2.1. Marco Teórico

El ambiente es una relación entre diversos componentes que interactúan entre sí, uno de éstos y el que se valorará principalmente en este estudio es el aire, el cual está conformado por variedad de compuestos que pueden encontrarse de forma individual o relacionarse con otros formando nuevas sustancias que pueden incurrir en la salud de los seres humanos, lo que lleva a estudiar temas tales como la calidad del aire, y salud ambiental entre otros.

La calidad del aire es un indicador del nivel de contaminación atmosférica, que permite generar un criterio de si este es apto para la realización de diferentes actividades al aire libre sin que afecte la salud de las personas. (Contreras Vigil, García Santiago, & Icaza Hernández, 2003)

Además de lo descrito anteriormente, el término calidad del aire es usado principalmente, para realizar un control sobre la calidad de la atmósfera a partir de herramientas tales, como estrategias de regulación, inventario de emisiones, red de vigilancia atmosférica, sistema para análisis de cumplimiento y estrategias de monitoreo a partir de las cuales se emiten las diversas alertas que puedan ser riesgo para la salud humana. (Arellano Díaz & Guzmán Pantoja , 2011) Se debe tener en cuenta que existen diferentes criterios emitidos por el IDEAM donde a partir de la medición individual de los contaminantes criterios, se extrae el Índice de Calidad del Aire (ICA), el cual es la base para definir según un color la calificación respecto al efecto sobre la salud humana. (García Dávila & Hernández Hernández, 2007-2010)

El ICA discrimina según el color en que se encuentra el valor obtenido en 6 grupos donde inicia con color verde lo que significa una calidad buena, amarillo un aire moderado, naranja dañina para la salud en grupos sensibles es decir en niños, adulto y personas con enfermedades respiratorias, al igual que los colores rojo y morado, que significan dañina para la salud y muy dañina respectivamente, por último se encuentra el marrón que hacer referencia a una calidad peligrosa lo que significa que afecta la salud de todas las personas por lo que se recomienda

evitar el esfuerzo al aire libre. (Hernández Hernández, Guzmán Ramos, & López Castro, 2012)

Teniendo en cuenta lo mencionado se abarca el tema de la salud ambiental, el cual según OMS abarca los aspectos de la salud humana, que son afectados por factores ambientales físicos, químicos, biológicos, sociales y psicosociales, haciendo énfasis en la evaluación, corrección, control y prevención de factores ambientales que pueden afectar negativamente la salud de las diferentes generaciones. (Ordoñez, 2000)

Es importante recalcar que los efectos de contaminantes en la salud no ocurren necesariamente en el punto de emisión, sino que también suelen presentarse en sitios lejanos a los mismos por incidencia de variables geográficas y meteorológicas. (Arellano Díaz & Guzmán Pantoja , 2011)

La concentración de material particulado, el cual es emitido desde diferentes fuentes, dentro de las cuales es indispensable el estado de las condiciones meteorológicas, es un determinante de la salud, ya que la mayoría de las enfermedades respiratorias son resultado de la deposición y penetración de PM<sub>2.5</sub> en las paredes de las vías respiratorias, al igual que en algunos casos puede reducir la eficacia del sistema cardiovascular. (De Marco, Amoatey, Omid Khaniabadi, Sicard, & Hopke, 2018)

Para la ejecución metodológica es necesario conocer acerca de las medidas de asociación que incluyen el Riesgo Relativo el cual será empleado para las conclusiones finales (Organización Panamericana de la Salud, 2011):

- RR=1: Ausencia de asociación entre exposición y enfermedad
- RR>1: Mayor riesgo en los expuestos (la exposición está asociada a la enfermedad y es un factor de riesgo).
- RR<1: Menor riesgo en los expuestos (la exposición está asociada a la enfermedad y es un factor protector).

Las mismas son apropiadas para los estudios de series de tiempo usadas para encontrar la similitud en diferentes bases de datos, donde los sistemas ecológicos que contienen registros cambiantes pueden dar como resultado, que un aumento en los valores de una base de datos

puede tener un relación inversa con la otra base reflejada en una disminución, como lo es el caso de la contaminación del aire. (Batyrshin , Solovyev, & Ivanov, 2016)

## 2.2. Marco Conceptual

Para definir la calidad del aire se tienen en cuenta los *contaminantes criterio* es decir son aquellos con mayor incidencia en la atmosfera, entre estos se encuentra el monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), ozono troposférico (O<sub>3</sub>) y material particulado que puede ser de 10 µm o menos. (Tyler , y otros, 2013)

Para la mayoría de estudios relacionados con contaminantes del aire y su incidencia en el bienestar de las personas, se emplean los *estudios ecológicos* que se caracterizan por estudiar grupos poblacionales y no casos individuales, son usados para generar comparaciones entre afectaciones a la salud con otros componentes, que se estime están generando dichos daños. (Borja, 2000)

Como principal método para el desarrollo estadístico se usa el modelo *condicional de Poisson* el cual es usado para estimar las asociaciones que existen entre los contaminantes que varían con el tiempo, como la mortalidad de una comunidad. (Amstrong, Gasparini, & Tobias, 2014)

Para corroborar el nivel de incidencia de los determinantes de la salud estudiados(contaminantes del aire), se aplica el *Riesgo relativo* siendo una medida de asociación de dos variables, que permiten expresar la probabilidad de consecuencias nocivas al exponerse a ciertas condiciones. (Ávila Ávila & Expósito Gallardo, 2011)

Otra definición para éste término hace referencia a que, es la razón entre el riesgo absoluto de enfermar o morir de aquellas personas de interés que presenten exposición, y el riesgo absoluto de enfermar o morir de aquellos individuos que no presenten dicha exposición. (Organización Panamericana de la Salud, 2011)

### 2.3. Marco Legal

El marco legal aplicable al proyecto se presenta a continuación

**Resolución 2254 de 2017:** *“por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones”*

De la anterior resolución se acatan para el desarrollo del estudio el **Art.2** el cual hace referencia a *“niveles máximos permisibles se contaminantes criterio”* que rigen desde el 1 de Julio de 2018.

**Resolución 909 de 2008** *“por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones”*.

De la misma se acatan el **Art. 4** el cual establece los estándares de emisión admisibles para actividades industriales

Al igual que el **Art. 37** en el que se dictan los estándares de emisión admisibles de contaminantes para instalaciones de tratamiento térmico de subproductos animales.

Es importante tener presente la *“Guía de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre”* expedida en el año 2005; ésta aborda los límites máximos permisibles expedidos por la Organización Mundial de la Salud, y las afectaciones que pueden tener los mismos sobre la salud.

Documento **CONPES 3943 2018** El cual es atribuido a la **POLÍTICA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE** siendo relevante para estudiar las medidas de reducción de emisiones por fuentes fijas y móviles en Colombia



### 3. Metodología

Con el fin de evaluar los efectos a corto plazo de los contaminantes criterio presente en el aire, sobre la mortalidad cardiopulmonar de los habitantes de la ciudad de Bucaramanga (Santander), y teniendo orientación en contaminantes múltiples, se realizó un estudio ecológico de series de tiempo, con el fin de establecer una relación entre los niveles de la contaminación del aire, con la mortalidad cardiopulmonar en la ciudad mencionada; dicha correspondencia se ejecutó a partir de datos obtenidos del Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), y la Secretaria de Salud de Bucaramanga respectivamente; la realización del estudio se efectuó en las siguientes etapas.

#### 3.1 Etapa I, Descripción de las concentraciones de contaminantes criterio del aire (PM<sub>10</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>)

1. Se obtuvieron datos correspondientes a la concentración de los contaminantes criterio del aire, además de datos meteorológicos proporcionados por cada una de las cinco estaciones que hacen parte de CDMB.

2. Los datos recopilados correspondientes al periodo de 2001- 2007 se procesaron en SPSS con el fin de estructurarlos de la siguiente manera, por estación: PM<sub>10</sub> promedio 24 horas, CO máximo horario, CO máximo promedio 8 horas, O<sub>3</sub> máximo horario, O<sub>3</sub> máximo promedio 8 horas, NO<sub>2</sub> promedio 24 horas, NO<sub>2</sub> máximo horario, SO<sub>2</sub> promedio 24 horas, SO<sub>2</sub> máximo horario, Temperatura, precipitación y humedad relativa.

3. Detallar el comportamiento diario y anual de cada uno de los contaminantes criterio del aire en la ciudad a partir de estadística descriptiva(media)

4. La base recopilada se comparará con las guías de calidad del aire estipuladas por la OMS, y con la normatividad nacional correspondiente a calidad del aire.

#### 3.2 Etapa II, Caracterización de la mortalidad por enfermedades cardiopulmonares.

1. Se recopilan los datos de mortalidad que corresponden al periodo de enero de 2001- diciembre de 2007, de la secretaria de salud de Bucaramanga.

2. Usando la herramienta Excel se aplicó un filtro a los datos obtenidos discriminando por grupo etario (1-5 años, 6-14, 15-64, y mayores de 65 años), junto con la enfermedad cardiopulmonar dentro de las que se encuentran EPOC, Infarto Agudo de Miocardio, disritmia, entre otras. Se detalló el comportamiento diario y anual de la mortalidad cardiopulmonar en la ciudad.

### **3.3 3.3. Etapa III, Modelación y análisis de la mortalidad en función de los efectos inmediatos y diferidos (0-5 días) de la concentración de los contaminantes criterio.**

1. Las bases de datos obtenidas anteriormente se organizan de manera que se divide por el valor diario IQR de contaminantes.

2. A través del Programa estadístico STATA 11.0 se aplica el modelo de Poisson Mixto a dichos datos, ajustados por factores de confusión relacionados con variaciones en el tiempo como los son la temperatura y la humedad relativa, al igual que la tendencia general de la mortalidad, con lo que se obtiene el efecto causal respecto al contaminante. (Buitrago Ocampo, García Díaz, Navarrete López, Rodríguez Villamizar, & Blanco Becerra, 2017)

Se establece el Riesgo Relativo (RR) de los datos obtenidos que se basa en la probabilidad de ocurrencia de un evento, modelando los contaminantes individuales y múltiples a través de un modelo condicional aplicando como variables de ajuste la temperatura y la humedad relativa; además se hará un análisis individual para cada una de las enfermedades, así como un análisis general que las incluya como una aproximación al efecto de dichos contaminantes sobre todas las enfermedades cardiopulmonares en conjunto.



Figura 1. Diagrama metodología, elaborado a través del software libre Lucydchart, por Diana Carolina Aguillón Gómez, 2019

## 4 Resultados

### 4.1 Capítulo 1, Descripción de las concentraciones de contaminantes criterio del aire (PM10, CO, SO2, NO2, O3).

Los datos recolectados por las 5 estaciones (Chimita, Centro, Norte, Florida y Ciudadela), se encuentran descritos estadísticamente en la Tabla 2, la cual muestra, con un total de 2556 de observaciones para la mayoría de los contaminantes estudiados, además de evidenciar que la temperatura promedio registrada para el periodo fue de 22,88°C y una Humedad relativa de 80,76% en Bucaramanga.

La concentración promedio 24 horas de PM<sub>10</sub> excede el límite máximo permisible de exposición (75 µg/m<sup>3</sup>) estipulado en la normativa vigente (Res.2254 de 2017) (Resolución 2254 de 01 de noviembre de 2017 "Por la cuál se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones.", 2017), ya que el valor registrado para Bucaramanga durante el periodo de estudio alcanzo un valor de 126,84 µg/m<sup>3</sup>; según la normativa que se encontraba rigiendo en el periodo de estudio (Res.601 de 2006) (Resolución 601 de 04 de abril de 2006 "Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia , 2006) la concentración no excede el límite permitido para dicho periodo (150 µg/m<sup>3</sup>) por lo que durante el periodo no se estaba incumpliendo la norma ambiental, pero según las guías estipulada por la OMS que establece un nivel de 50 µg/m<sup>3</sup> indicando que existen riesgos para la salud. (Organización Mundial de la Salud, 2005)

Tabla 1. *Estadística de los contaminantes*

Contaminante o variable meteorológica	Obs.	Media	D.E.	Mín.	Máx.	%Datos Disponibles
PM <sub>10</sub> (24 horas µg/m <sup>3</sup> )	2553	58,47	15,62	19,98	126,84	99,88
CO (Máximo horario ppm)	2556	2,53	0,72	0,74	5,89	100
CO (Promedio Máximo 8 horas ppm)	2556	1,62	0,47	0,38	3,92	100
O <sub>3</sub> (Máximo horario ppb)	2556	31,30	8,75	6	64,67	100

Tabla 1. Continuación

O <sub>3</sub> (Promedio Máximo 8 horas ppb)	2556	23,51	7,48	3,11	56,5	100
NO <sub>2</sub> (24 Horas) ppb	2554	14,42	4,94	1,24	47,04	99,92
NO <sub>2</sub> (Máximo Horario) ppb	2556	28,47	10,00	4	76	100
SO <sub>2</sub> (24 Horas) ppb	2551	7,28	2,81	0,62	22,53	99,80
SO <sub>2</sub> (Máximo Horario) ppb	2556	15,41	6,01	1,38	54,38	100
Temperatura °C	2533	22,88	1,58	18,4	27,5	99,1
Humedad Relativa (%)	2530	80,76	8,60	48	100	98,98

Obs: Observaciones; D.E: Desviación Estandar, RIQ: Rango Intercuartil; ppb: Partes por billón; ppm: Partes por millón

**NOTA:** Descripción estadística de los contaminantes criterio del aire recolectados de las estaciones de monitoreo del Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire Bucaramanga, periodo 2001-2007 Adaptado de: Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB)

#### 4.2 Capítulo 2, Caracterización de la mortalidad por enfermedades cardiopulmonares.

Para el período de estudio comprendido de enero de 2001- diciembre de 2007, se registraron un total de 4.732 defunciones por afecciones cardiopulmonares; del total de muertes por dicho diagnostico el 71,97% se deben a enfermedades cardiovasculares, y el 28,02% referentes a enfermedades respiratorias de las cuales se tiene un máximo diario de 7 y 4 muertes respectivamente. Las enfermedades cardiopulmonares tienen un número máximo de 8 muertes diarias en Bucaramanga, teniendo en cuenta que el grupo etario más afectado son las personas mayores de 65 años ya que dentro de este grupo se encuentra el 76,01% del total de casos con un máximo de 7 defunciones diarias (Tabla 2).

Tabla 2. Estadística de la mortalidad

Mortalidad	Observaciones	Media diaria	D.E. diaria	Máximo diario
CP Total	4732	1,85133	1,373713	8
CP > 65 años	3597	1,407277	1,199319	7
CV Total	3406	1,332551	1,184263	7

Tabla 2. Continuación

CV > 65 años	2638	1,032081	1,02137	6
RP Total	1326	0,5187793	0,7365489	4
RP > 65 años	959	0,3751956	0,624104	4
IAM Total	1283	0,5019562	0,7373168	4
IAM > 65 años	972	0,3802817	0,6344223	4
DR Total	1108	0,4334898	0,6643547	5
DR > 65 años	893	0,349374	0,599089	5
CRB Total	1015	0,3971049	0,6293346	5
CRB > 65 años	773	0,3024257	0,5486953	4
STR Total	156	0,0610329	0,2537229	3
STR > 65 años	134	0,0524257	0,2382051	3
LRI Total	886	0,3466354	0,5944561	4
LRI <1 año	39	0,0152582	0,1226021	1
LRI 1-5 años	7	0,0027387	0,0522707	1
LRI <14 años	65	0,0254304	0,1574591	1
EPOC Total	422	0,1651017	0,4141939	3
EPOC > 65 años	381	0,149061	0,3917984	2

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

**NOTA:** Descripción de la mortalidad en la ciudad de Bucaramanga periodo enero 2001- diciembre 2007, Adaptado de: Secretaria de Salud de Bucaramanga.

#### 4.3 Capítulo 3. Modelación y análisis de la mortalidad en función de los efectos inmediatos y diferidos (0-5 días) de la concentración de los contaminantes criterio

A partir del método de regresión de Poisson Mixto se calculó el Riesgo Relativo para la mortalidad cardiopulmonar el cual generó como resultado que por un aumento de 5 ppb en el promedio 24 horas de NO<sub>2</sub> en el Lag 1 (con un día de retraso) la mortalidad se incrementa en un 4,34% (IC95%: -1,27%;10,28%) en el grupo de todas las edades, mientras para el grupo de mayores de 65 años se observó un aumento en el riesgo de 2,55% (IC95%: -3,77;9,30%); los valores no fueron estadísticamente significativos. A su vez por un aumento de 5 ppb en el

promedio máximo 8 horas de O<sub>3</sub>, se encontró un cambio en el riesgo de 2,94% (IC95%: -1,33%;7,40%) con 3 días de retraso (Lag 3) (Figura 2).

Para la mortalidad cardiovascular se encontró que por un aumento de 5 ppb en el promedio máximo horario de NO<sub>2</sub> en el Lag 1, la mortalidad se incrementa en un 4,35% (IC95%:0,80%;8,03%) en el grupo de todas las edades, siendo estadísticamente significativo (Figura 3).

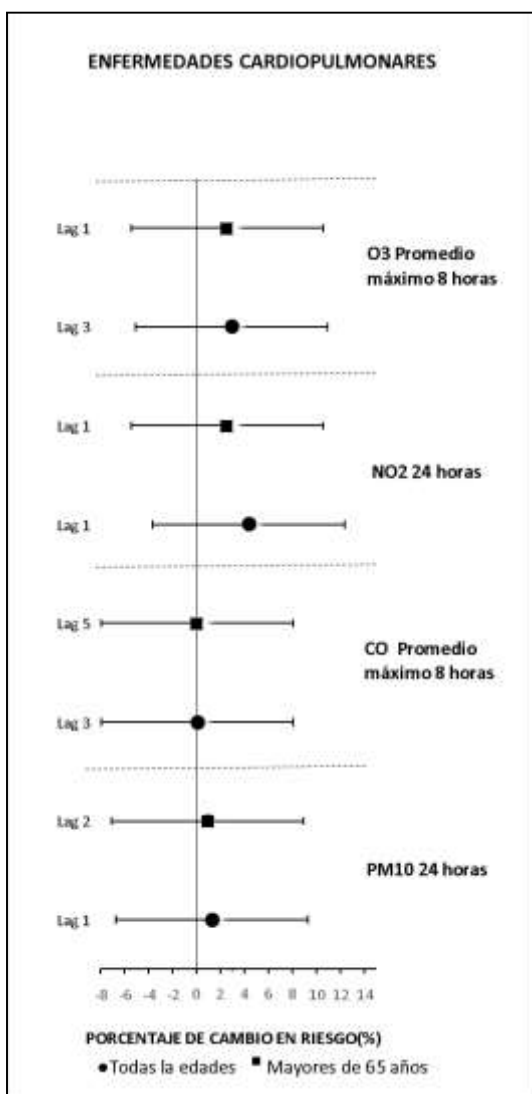


Figura 2. Porcentaje de cambio en el riesgo para la mortalidad Cardiopulmonar (CP) en Bucaramanga 2001-2007, elaborado por Diana Carolina Aguillón Gómez, 2019

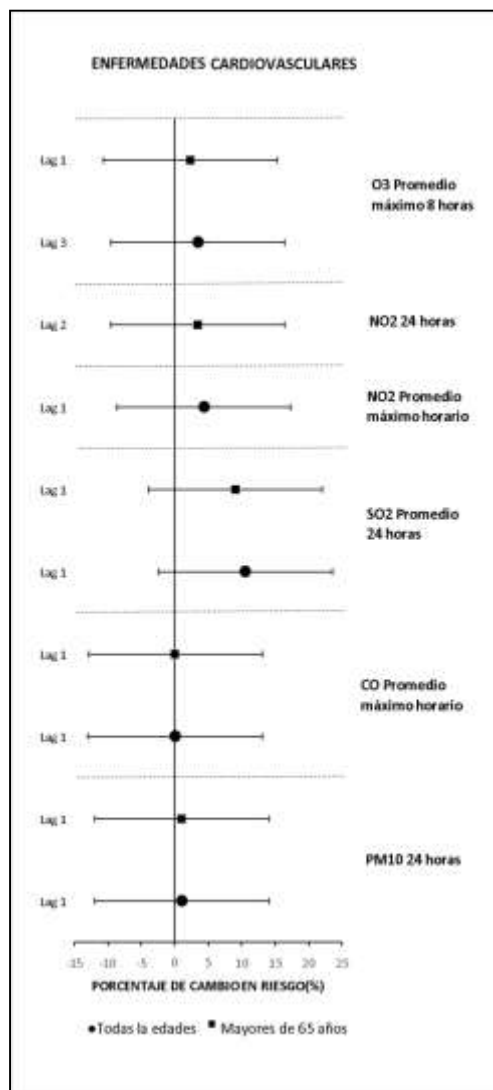


Figura 3. Porcentaje de cambio en el riesgo para la mortalidad Cardiovascular (CV) en Bucaramanga 2001-2007, elaborado por Diana Carolina Aguillón Gómez, 2019.

En relación a la mortalidad respiratoria por un aumento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el promedio 24 horas de  $\text{PM}_{10}$  en el Lag 5, se encontró un incremento en el riesgo de 9,05% (IC95%:1,5%;17,0%), así como por un aumento de 0,01 ppm en el promedio máximo 8 horas de CO se observó un cambio en el riesgo de 0,23% (IC95%:0,01%;0,45%) para los mayores de 65 años; para el grupo de todas las edades por un incremento de 0,01ppm en el promedio máximo horario de CO el riesgo aumenta 0,15% (IC95%:0,02%;0,27%), como se puede observar en la Figura 4.

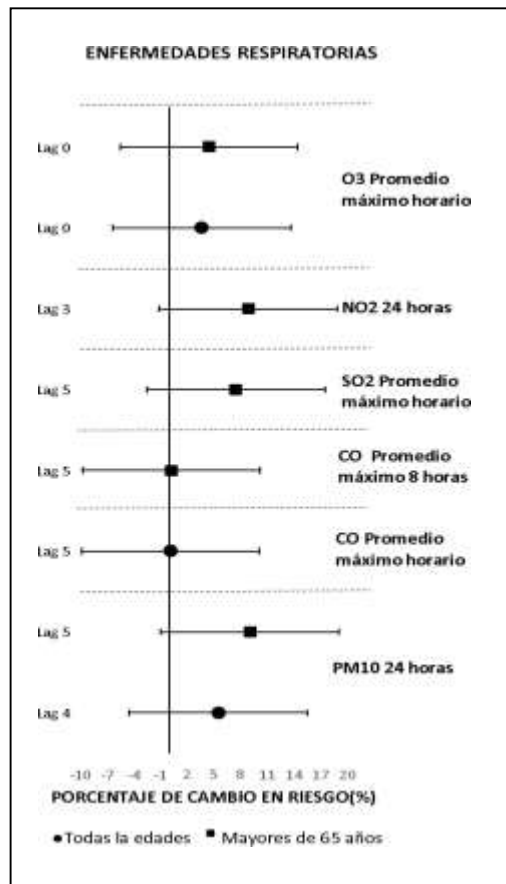


Figura 4. Porcentaje de cambio en el riesgo por la mortalidad respiratoria (RP) en Bucaramanga 2001-2007, elaborado por Diana Carolina Aguillón Gómez, 2019.

Para la mortalidad por Infarto Agudo de Miocardio para todas las edades se evidencia que por un aumento de 5 ppb en la concentración máxima horaria de  $\text{SO}_2$  en el Lag3 se presentó un cambio en el riesgo de 8,48% (IC95%:0,81%;16,72%); por otra parte para este mismo grupo un incremento de 5 ppb en el promedio 24 horas de  $\text{NO}_2$  aumenta el riesgo en 11,88% (IC95%:0,54%;24,50%) en el Lag 1; finalmente para el grupo de los mayores de 65 años en el Lag 1 por un aumento de 0,01 ppm en la concentración máxima



horaria de CO se encontró un riesgo de 0,1470% (IC95%:0,0068%;0,28%); todos los riesgos fueron estadísticamente significativos (Tabla 3).

*Tabla 3. Cambio en el riesgo Infarto Agudo de Miocardio (IAM)*

Grupo de edad	Contaminante	Lag.	RR	D.E.	ICI	ICS	%CR
Todos	CO (Máximo horario ppm)	1	1,0011	0,0006	0,9999	1,0024	0,1133
Todos	SO <sub>2</sub> (Máximo Horario) ppb	3	1,0848	0,0406	1,0082	1,1673	8,4809
Todos	NO <sub>2</sub> (24 Horas) ppb	1	1,1188	0,0610	1,0054	1,2450	11,8840
>65	CO (Máximo horario ppm)	1	1,0015	0,0007	1,0001	1,0029	0,1470
>65	NO <sub>2</sub> (Máximo Horario) ppb	2	1,0700	0,0356	1,0025	1,1420	6,9980

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.

**NOTA:** Porcentaje de cambio en el riesgo para la mortalidad por Infarto Agudo de Miocardio (IAM) en Bucaramanga 2001-2007, Por: Diana Carolina Aguillón Gómez, 2019.

Para la mortalidad por disrimias se encontró que por un aumento de 0.01ppm en la concentración máxima 8 horas de CO en el Lag 2, existe un riesgo de 0.24% (IC95%:0.04%;0.45%) para todas las edades y 0.33% (IC95%:0.10%;0.55%) para los mayores de 65 años, siendo estadísticamente significativos (Tabla 4).

*Tabla 4. Cambio en el riesgo Disrimias (DR)*

Grupo de edad	Contaminante	Lag.	RR	D.E.	ICI	ICS	%CR
Todos	CO (Promedio Máximo 8 horas ppm)	2	1.002488	0.0010495	1.000433	1.004547	0.2488
Todos	O <sub>3</sub> (Máximo horario ppb)	5	1.035046	0.0285335	0.9806052	1.092509	3.5046
>65	CO (Promedio Máximo 8 horas ppm)	2	1.003301	0.0011703	1.00101	1.005598	0.3301
>65	O <sub>3</sub> (Máximo horario ppb)	5	1.044475	0.0318427	0.9838927	1.108788	4.4475

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.

**NOTA.** Porcentaje de cambio en el riesgo para la mortalidad por Disrimias (DR) en Bucaramanga 2001-2007, Por: Diana Carolina Aguillón Gómez, 2019.

En cuanto a la mortalidad por Enfermedad Cerebrovascular por un aumento de 5 ppb en el promedio máximo horario de SO<sub>2</sub> en el Lag 2 se encontró un crecimiento de 10,13% (IC95%:0,68%;20,47%) en la mortalidad para el grupo de todas las edades; en el caso de las personas mayores de 65 años existe un riesgo de 0,17% (IC95%:0,013%;0,33%), con 5 días de retraso (Lag 5) tras la exposición a CO por un aumento de 0.01 ppm en la concentración máxima horaria del mismo; igualmente éste grupo etario presenta un riesgo de 11,20% (IC95%:0,0023%;23,66%) por un aumento de 5 ppb en el máximo horario de SO<sub>2</sub> en el Lag 2, siendo estadísticamente significativos (Tabla 5). En la Tabla 6 se describe el porcentaje de cambio en el riesgo por la mortalidad respecto a accidente cerebrovascular (Stroke), evidenciando que en Bucaramanga para el periodo en estudio para todas las edades y los mayores de 65 años, en el Lag 5, por un aumento de 0,01 ppm en el máximo horario de CO, se evidencia un riesgo de 0,08% (IC95%:-0,25%;0,41%) y 0,22% (IC95%:-0,14;0,58%) respectivamente.

*Tabla 5. Cambio en el riesgo Enfermedad Cerebrovascular (CRB).*

Grupo de edad	Contaminante	Lag.	RR	D.E.	ICI	ICS	%CR
Todos	CO (Máximo horario ppm)	5	1,000869	0,0007174	0,9994641	1,002276	0,0869
Todos	SO <sub>2</sub> (Máximo Horario) ppb	2	1,101371	0,0504043	1,006882	1,204728	10,1371
Todos	NO <sub>2</sub> (Máximo Horario) ppb	1	1,056534	0,0341914	0,9916008	1,125718	5,6534
Todos	O <sub>3</sub> (Máximo horario ppb)	4	1,040959	0,0298824	0,984008	1,101206	4,0959
>65	CO (Máximo horario ppm)	5	1,001741	0,0008228	1,00013	1,003355	0,1741
>65	SO <sub>2</sub> (Máximo Horario) ppb	2	1,112072	0,0602581	1,000023	1,236675	11,2072

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.

**NOTA:** Porcentaje de cambio en el riesgo para la mortalidad por Enfermedad Cerebrovascular (CRB) en Bucaramanga 2001-2007, Por: Diana Carolina Aguillón Gómez,2019.

Tabla 6. Cambio en el riesgo Stroke

Grupo de edad	Contaminante	Lag.	RR	D.E.	ICI	ICS	%CR
Todos	CO (Máximo horario ppm)	5	1,000827	0,0017007	0,9974995	1,004166	0,0827
>65	CO (Máximo horario ppm)	5	1,002218	0,0018581	0,998583	1,005867	0,2218

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.

**NOTA:** Porcentaje de cambio en el riesgo para la mortalidad por Stroke en Bucaramanga 2001-2007, Por: Diana Carolina Aguillón Gómez, 2019.

El estudio muestra como resultado para la Infección de las vías respiratorias inferiores para todas las edades, que por un aumento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el promedio 24 horas de  $\text{PM}_{10}$  en el Lag 5 se encontró un riesgo de 8,19% (IC95%:0,55%;16,41%); además por un aumento de 0,01 ppm en el promedio máximo 8 horas de CO, existe un cambio en el riesgo de 0,24% (IC95%:0,02%;0,47%) en el Lag3; para el grupo de mayores de 65 años, en el Lag 5, por un aumento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en la concentración promedio 24 horas de  $\text{PM}_{10}$ , se evidencia un cambio en el riesgo de 13,67% (IC95%:3,82%;24,46%), además por un aumento de 0,01 ppm en la concentración máxima horaria de CO con 3 días de retraso se halló un riesgo de 0,21% (IC95%:0,03%;0,39%); con los mismos días de retraso se observa que por un aumento de 5 ppb en el promedio 24 horas de  $\text{NO}_2$ , existe un riesgo de 18,58% (IC95%:1,31%;38,80%) en la mortalidad (Tabla7).

Tabla 7. Cambio en el riesgo Infección de las vías áreas respiratorias inferiores (LRI).

Grupo de edad	Contaminante	Lag.	RR	D.E.	ICI	ICS	%CR
Todos	$\text{PM}_{10}$ (24 horas $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	5	1,081956	0,0404088	1,005585	1,164126	8,1956
Todos	CO (Promedio Máximo 8 horas ppm)	3	1,002455	0,0011457	1,000212	1,004703	0,2455
Todos	$\text{O}_3$ (Máximo horario ppb)	0	1,058969	0,032713	0,9967548	1,1250660	5,8969

Tabla 7. Continuación

>65	PM <sub>10</sub> (24 horas µg/m <sup>3</sup> )	5	1,13676	0,0525729	1,035251	1,244615	13,676
>65	CO (Máximo horario ppm)	3	1,002148	0,0009356	1,000316	1,003983	0,2148
>65	NO <sub>2</sub> (24 Horas) ppb	3	1,185854	0,0952462	1,013127	1,388029	18,5854
>65	O <sub>3</sub> (Máximo horario ppb)	0	1,061186	0,0413525	0,9831547	1,1454110	6,1186
<1 año	CO (Promedio Máximo 8 horas ppm)	5	1,00729	0,0059227	0,9957483	1,018965	0,729
1-5 años	CO (Promedio Máximo 8 horas ppm)	0	1,016196	0,0138386	0,9894319	1,0436850	1,6196
<14	CO (Promedio Máximo 8 horas ppm)	3	1,008371	0,0045897	0,999415	1,017407	0,8371

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.

**NOTA:** Porcentaje de cambio en el riesgo para la mortalidad por Infección de las vías áreas respiratorias inferiores (LRI) en Bucaramanga 2001-2007, Por: Diana Carolina Aguillón Gómez, 2019.

En cuanto a la mortalidad por EPOC en el Lag 1, por un aumento de 5 ppb en el máximo horario de O<sub>3</sub>, se observó un riesgo de 8,6% (IC95%:0,01%;18,06%) y 9,06% (IC95%:0,03%;18,9) para todas las edades y los mayores de 65 años respectivamente, siendo estadísticamente significativos (Tabla8).

Tabla 8. Cambio en el riesgo Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC).

Grupo de edad	Contaminante	Lag.	RR	D.E.	ICI	ICS	%CR
Todos	CO (Promedio Máximo 8 horas ppm)	5	1,002165	0,0016992	0,9988405	1,005501	0,2165
Todos	O <sub>3</sub> (Máximo horario ppb)	1	1,086625	0,0459969	1,000111	1,180622	8,6625

*Tabla 8. Continuación.*

>65	CO (Promedio Máximo 8 horas ppm)	5	1,002776	0,0017712	0,9993106	1,006253	0,2776
>65	O <sub>3</sub> (Máximo horario ppb)	1	1,090649	0,0481208	1,000296	1,189162	9,0649

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.

**NOTA:** Porcentaje de cambio en el riesgo para la mortalidad por Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) en Bucaramanga 2001-2007, Por: Diana Carolina Aguillón Gómez, 2019.

## 5 Discusión de resultados y recomendaciones

En la mortalidad cardiopulmonar con un día de retraso (Lag 1) se observó un cambio en el riesgo de 4,34% para todas las edades por un aumento de 5 ppb en el promedio 24 horas del NO<sub>2</sub>; el NO no afecta la salud sino hasta que este es oxidado, al ser emitido generándose el NO<sub>2</sub> el cual puede producir edema pulmonar, neumonía, bronquiolitis, donde los niños pueden llegar a ser los más afectados por tal exposición prolongada, ya que se encuentran en el desarrollo de su sistema inmunológico siendo más propensos a adquirir infecciones de tipo respiratorio [19,20]. Dicho contaminante se encuentra tanto en el exterior como en el ambiente domestico al utilizar estufas de gas o queroseno y que no tengan la ventilación (Ortega Garcia , 2001). En 2012 se realizó un estudio ecológico en 17 ciudades de China donde se observó una asociación estadística significativa de NO<sub>2</sub> con la mortalidad cardiorrespiratoria de 3,56% en todas las zonas urbanas estudiadas (Chen , y otros, 2012).

Teniendo en cuenta que el monóxido de Carbono procede principalmente de fuentes como el humo de incendios, el producto de la combustión incompleta de emisores móviles entre otras, este se combina con la hemoglobina formando carboxihemoglobina(COHb) reduciendo la cantidad de la misma cuya función es la de transportar el oxígeno, afectando el correcto funcionamiento de los tejidos por falta de oxigenación, principalmente órganos como el cerebro, (Bateman , 2012) lo que se puede relacionar con los resultados encontrados en el presente estudio.

La mortalidad respiratoria 5 días antes de la defunción muestra, para todas las edades un riesgo de 0,15% por el aumento de 0,01 ppm en el promedio máximo horario de CO; para los mayores de 65 años por un incremento de 10 µg/m<sup>3</sup> en el promedio 24 horas de PM<sub>10</sub> existe un riesgo de 9,05%, así como por la elevación de 0,01 ppm en el promedio máximo 8 horas de CO se observó un cambio en el riesgo de 0,23%, coincidiendo con un estudio en Irán en el cual al exponerse a CO se obtuvo un valor de 17,3% de riesgo relacionándolo con hospitalización por afección respiratoria, con lo que se demuestra que existe una afectación del contaminante en las diferentes edades (Behrooz , Behnosh, & Sadegh, 2018). Otra investigación realizada en Dongguan (T:26°C;HR:91%) con características meteorológicas similares a Bucaramanga (T:22,8°C;HR:80,7%), concluyó que la exposición a corto plazo a

CO, se asocia con mayor riesgo de asma con un promedio diario de 24,79 consultas por urgencias, además de las diferentes formas de enfermedades respiratorias, asociándose fuertemente en ancianos y mujeres (Zhao , y otros, 2019); dentro de los estudios existentes para la ciudad se han encontrado resultados para PM<sub>10</sub> donde se realizó un estudio de cohorte a 768 niños en zonas de mayor y menor contaminación, donde obtuvieron como resultado para el año 2007 que por un aumento de 10 µg/m<sup>3</sup> en la concentración atmosférica del contaminante hay un incremento de 1,3 en el número de síntomas diarios reportados en la zona de mayor contaminación. (Rodríguez Villamizar, Herrera López , Castro Ortiz, Niederbacher Velásquez , & Vera Cala , 2010) Además en un estudio similar concluyeron que para Bucaramanga existe mayor asociación de los contaminantes intra domiciliarios con la presencia de síntomas respiratorios que pueden incidir en el asma en niños menores de 7 años (Rodríguez , y otros, 2018).

En cuanto a O<sub>3</sub>, un estudio encontró asociación de este con las hospitalizaciones respiratorias tras un episodio de incendios en California en el año 2008, realizando un ajuste, se hizo evidente la relación con la EPOC tras estudiar los efectos causados (Reid , y otros, 2019). El presente estudio evidenció que los datos más significativos en la mortalidad por EPOC corresponden a un día de retraso (Lag1), en el que por un aumento de 5 ppb en el máximo horario de O<sub>3</sub>, se observó un riesgo de 8,6% y 9,06% para todas las edades y los mayores de 65 años respectivamente. Los niveles crecientes ambientales de O<sub>3</sub> han mostrado asociación con la reducción en las medidas de la función pulmonar en pacientes con EPOC, la cual es una enfermedad crónica importante caracterizada por una limitación progresiva y sin posibilidad de retorno del flujo de aire, causando tasas de morbilidad y mortalidad considerables en el mundo (Hongyu, y otros, 2018).

El estudio muestra como resultado para la Infección de las vías respiratorias inferiores (IRA) que por un aumento de 10 µg/m<sup>3</sup> en el aumento de PM<sub>10</sub> promedio 24 horas en el Lag 5 se observa un riesgo de 8,19% para todas las edades; de otra forma por un aumento de 0,01 ppm en el promedio máximo 8 horas de CO, existe un cambio en el riesgo de 0,24% en el Lag 3; en el grupo de mayores de 65 años se encontró que en el Lag5 por un aumento de 10 µg/m<sup>3</sup>

en la concentración promedio 24 horas de  $PM_{10}$ , se evidencia un cambio en el riesgo de 13,67%, además por un aumento de 0,01 ppm en la concentración máxima horaria de CO con 3 días de retraso se halló un riesgo de 0,21%; con los mismos días de retraso se muestra que por un aumento de 5 ppb en el promedio 24 horas de  $NO_2$ , existe un riesgo de 18,58% en la mortalidad por (IRA). Lo anterior es consecuente con otros estudios donde se muestra que el inicio de la enfermedad hasta la hospitalización puede variar de 1-6 días, evidenciando que los tiempos promedio de exposición más largos muestran asociaciones más fuertes. (Trang Nhung, y otros, 2018) (Gouveia & Leite Junger, 2017)

El presente estudio mostró que por un aumento de 5 ppb en el promedio máximo horario de  $NO_2$  existe un riesgo de 4,35% de fallecer por enfermedades cardiovasculares, al exponerse un día antes de la defunción a dicho contaminante, relacionándose con diversos estudios que demuestran asociación entre el aumento de la contaminación con la elevación de la presión arterial, al igual que una mayor prevalencia en la hipertensión arterial (Soldevila Bacardit, Vinyoles Bargalló, Agudo Ugena, & Campus Vila, 2018), así lo demuestra Yuming et al., en Tianjin (China) donde por un aumento de  $10 \mu g/m^3$  de  $NO_2$  existe una asociación con la mortalidad cardiovascular de 1,08%, evidenciando que si existe un efecto de la contaminación atmosférica sobre la mortalidad cardiovascular. (Guo, y otros, 2010)

Este trabajo mostró que para la mortalidad por Infarto Agudo de Miocardio (IAM) para todas las edades se evidencia que por un aumento de 5 ppb en la concentración máxima horaria de  $SO_2$  al tercer día de retraso hay un cambio en el riesgo de 8,48%; para el promedio 24 horas de  $NO_2$  con un día de retraso por el incremento de 5 ppb, existe un riesgo de 11,88%; igualmente por un aumento de 0,01 ppm en la concentración máxima horaria de CO en el Lag 1 existe un incremento de 0,14% para el grupo de los mayores de 65 años. Existe una relación entre a exposición a  $PM_{10}$  y la mortalidad por IAM (Royé, Zarrabeitia, Fdez-Arroyabe, Álvarez Gutiérrez, & Santurtun, 2019), pero en el presente trabajo no se observó dicha relación.



## 6 Impacto social

Una de las principales finalidades de este estudio es generar evidencia científica que sirva como base para futuras investigaciones encaminadas al estudio de la calidad del aire relacionada con la salud pública, principalmente en Bucaramanga, ya que allí no se han realizado estudios relacionados con la mortalidad cardiopulmonar y la exposición a contaminantes múltiples.

En cuanto a la pertinencia social, la realización del estudio beneficiaría a la población en general y/o vulnerable, según las condiciones de salud referentes a afecciones cardiopulmonares, satisfaciendo las necesidades de soporte de información de algunas entidades, que permitan canales de comunicación para con los habitantes de la ciudad de Bucaramanga u otras ciudades o instituciones interesadas, creando conciencia y prevención del daño a la salud pública y así mismo contribuyendo al cumplimiento del objetivo de desarrollo sostenible número 3 que hace referencia a la *salud y bienestar* el cual busca trabajar luchando contra varias de las causas de muerte y enfermedades a nivel mundial. Lo anterior fundamenta la proyección social de la Universidad Santo Tomás y el sentido humanista.

## **7 Conclusiones**

En conclusión la ciudad de Bucaramanga durante el periodo 2001-2007 tuvo incidencia de la contaminación atmosférica en la mortalidad por afecciones cardiopulmonares donde los más afectados según los resultados fueron los mayores de 65 años ya que su sistema inmunológico es más propenso a adquirir diferentes tipos de enfermedades (Jiayao Zhang, y otros, 2019).

No se encontró relación de mezclas de contaminantes, mostrando únicamente efecto con los días diferidos de la exposición.

El presente estudio sirve de referencia para futuras investigaciones ya que la ciudad cuenta con escasos estudios sobre el tema, enfocándose en la morbilidad en primera infancia y no en todos los grupos etarios.

### **7.1 Recomendaciones**

Es necesario realizar estudios con la información actual que permita prevenir, si es el caso, del desarrollo de actividades físicas al aire libre ya que se puede ver afectada la salud en determinadas horas del día.

## Referencias

- Álvarez Soto, J. E. (2018). Efectos a corto plazo de la contaminación del aire sobre la mortalidad cardiopulmonar en la localidad de Engativá- Bogotá.: Universidad Santo Tomas.Obtenido de : <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/10657>
- Amstrong, B., Gasparini, A., & Tobias, A. (2014). Conditional Poisson models: a flexible alternative to conditional logistic case cross-over analysis. *Medical Research Methodology*, 14, 1-6.Obtenido de: <https://bmcmedresmethodol.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2288-14-122>
- Arellano Díaz , J., & Guzmán Pantoja , J. E. (2011). *Ingeniería Ambiental* . México D.F. : Alfaomega .
- Ávila Ávila , R., & Expósito Gallardo, M. (2011). Riesgo relativo, sensibilidad y especificidad: un enfoque desde el análisis matemático y el álgebra lineal . *Revista Cubana de Informática Médica* , 23(2).Obtenido de: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1684-18592011000200005](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18592011000200005)
- Ballester Díez, F., Tenías , J., & Pérez Hoyos , S. (1999). Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud. *Revista Española de Salud Pública* , 73(2), 109-121.Obtenido de : <https://www.researchgate.net/publication/26379345>
- Bateman , N. (2012). Carbon monoxide . *Medicine*, 40(3), 115-116.Obtenido de: [https://www.medicinejournal.co.uk/article/S1357-3039\(11\)00329-X/abstract](https://www.medicinejournal.co.uk/article/S1357-3039(11)00329-X/abstract)
- Batyrshin , I., Solovyev, V., & Ivanov, V. (2016). Time series shape association measures and local trend association patterns. *Neurocomputing* , 175, 924-934.
- Behrooz , K., Behnosh, S., & Sadegh, S. (2018). Mortality and hospitalizations due to cardiovascular and respiratory diseases associated with air pollution in Iran: A sistematic review and meta- analysis . *Atmospheric Environment*, 198, 438-447.
- Borja, V. H. (2000). Estudios ecológicos . *Salud Pública de México* , 42(6), 533-537.
- Brunekreef, B., & Holgate , S. (2002). Air pollution and health. *The Lancet*, 360, 1233-1242. Buitrago Ocampo , C. Y., García Díaz, K. A., Navarrete López, C. F., Rodríguez Villamizar, L. A., & Blanco Becerra, L. C. (2017). Efecto a corto plazo de la contaminación del aire sobre la mortalidad cardiopulmonar en cuatro localidades de Bogotá con

diferentes niveles de concentración de PM10. *VI Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública*. Santiago de Cali, Colombia.

Cantú Martínez, P. C. (1992). *Contaminación Ambiental*. México: Bireme.

Carranza Romero, J. E., Arias Rodríguez, F., Bejarano Rojas, J. A., Casas Lozano, C., Gonzáles Ramírez, A. X., Moreno Burbano, S. A., & Vélez Velásquez, J. S. (2018). La industria colombiana en el siglo XXI. *Revista Ensayos Sobre Política Económica (ESPE)*(87), 1-69.

Chen, R., Samoli, E., Wong, C. M., Huang, W., Wang, Z., Chen, B., & Kan, H. (2012). Associations between short-term exposure to nitrogen dioxide and mortality in 17 Chinese cities: The China Air Pollution and Health Effects Study (CAPES). Obtenido de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22572114>

Contreras Vigil, A. M., García Santiago, G., & Icaza Hernández, B. (2003). *Calidad del aire: una práctica de vida*. Guadalajara: Printing Arts México. Obtenido de: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001593.pdf>

Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. (2010). *Resumen del estado de la calidad del aire en el área metropolitana de Bucaramanga*. Bucaramanga.

De Marco, A., Amoatey, P., Omidi Khaniabadi, Y., Sicard, P., & Hopke, P. (2018). Mortality and morbidity for cardiopulmonary diseases attributed to PM2.5 exposure in the metropolis of Rome, Italy. *European Journal of Internal Medicine*, 57, 49-57. Obtenido de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30122285>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2009). *Proyecciones de población 2005-2020*. Colombia: DANE.

García Dávila, M. C., & Hernández Hernández, A. M. (2007-2010). *Informe del estado de la calidad del aire en Colombia, Informe del estado del medio*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Gouveia, N., & Leite Junger. (2017). Effects of air pollution on infant and children respiratory mortality in four large Latin-American cities. América Latina, México, Chile, Brasil.

- Guo , Y., Barnett, A. G., Zhang, Y., Tong , S., Yu, W., & Pan , X. (2010). The short-term effect of air pollution on cardiovascular mortality in Tianjin, China: Comparison of time series and case–crossover analyses. *Science of The Total Environment*, 409(2), 300-306. Obtenido de : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4962263/>
- Guo, J., Ma, M., Xiao, C., Zhang, C., Cheng, J., Lin, H., . . . Liu, M. (2018). Association of air pollution and mortality of acute lower respiratory tract infections in Shenyang, China: A time series analysis study. *Iranian Jorurnal of Public Health*, 47(9), 1260-1270. Obtenido de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6174054/>
- Hernández Hernández, A. M., Guzmán Ramos, L. E., & López Castro, M. O. (2012). Hoja metodológica del indicador índice de calidad del aire. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales .
- Hongyu, L., Shaowei, W., Lu, P., Junhui, X., Jiao, S., Xuang, Y., . . . Xinbiao, G. (2018). Short-term effects of various ozone metrics on cardiopulmonary function in chronic obstructive pulmonary disease patients: Results from a panel study in Beijing, China. *Environmental Pollution*, 232, 358-366.
- Jiayao Zhang, Qi , C., Qingqing, W., Zhen , D., Hong , S., & Yan , X. (2019). The acute health effects of ozone and PM2.5 on daily cardiovascular disease mortality: A multi-center time series study in China.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible . (2012). *Diagnóstico nacional de salud ambiental* . Colombia : MinAmbiente.
- Ordoñez, G. (2000). *Salud ambiental: conceptos y actividades* . Revista Panamericana de Salud Publica .
- Organización Mundial de la Salud. (2005). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. Organización Mundial de la Salud.
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Las 10 principales causas de defunción* . OMS. Obtenido de : <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>
- Organización Panamericana de la Salud. (2011). *Medición de las condiciones de salud y enfermedad en la población*. Washington DC: All Type Asesoría Editorial Ltda.
- Ortega Garcia , J. A. (2001). El pediatra y la incineración de residuos sólidos. Conceptos

básicos y efectos adversos en la salud humana . *Revista Especializada en pediatría*, 57(6), 473-490.Obtenido de: <https://medes.com/publication/1646>

Pérez Cardenas , J. E. (2017). La calidad del aire en Colombia: un problema de salud pública, un problema de todos *Biosalud* 16(2), 5-6.Obtenido de: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1657-95502017000200005](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-95502017000200005)

Reid , C., Considine , E., Watson , G., Telesca , D., Pfister, G., & Jerrett, M. (2019). Associations between respiratory health and ozone and fine particulate matter during a wildfire event California.Obtenido de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412018330277>

Resolución 2254 de 01 de noviembre de 2017 "Por la cuál se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones." (2017).

Resolución 601 de 04 de abril de 2006 "Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia (2006).

Rodriguez , L. A., Rey, J. J., Herrera , A., Castro , H., Niederbacher , J., Vera , L. M., . . . Bolivar , F. (2018). Prevalencia de síntomas respiratorios indicativos de asma y asociación con contaminación atmosférica en preescolares de Bucaramanga, Colombia *Biomédica* 30, 15-22.Obtenido de: <https://revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/148>

Rodríguez Villamizar, L. A., Herrera López , A. B., Castro Ortiz, H., Niederbacher Velásquez , J., & Vera Cala , L. M. (2010). Incidencia de síntomas respiratorios y su asociación con contaminación atmosférica en preescolares: un análisis multinivel. *Saúde Pública*, 26(7), 1411-1418.Obtenido de: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-311X2010000700020](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2010000700020)

Romero Placeres, M., Olite , F., & Álvarez Toste , M. (2006). Air pollution: its impact as a health problem. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología* , 44(2).Obtenido de: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1561-30032006000200008](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032006000200008)

Royé , D., Zarrabeitia, M. T., Fdez-Arroyabe , P., Álvarez Gutiérrez, A., & Santurtun , A. (2019). Papel de la temperatura aparente y los contaminantes atmosféricos en los

ingresos hospitalarios por infarto agudo de miocardio en el norte de España. *Revista Española de Cardiología*, 72(8), 634-640. Obtenido de:

<https://www.revespcardiol.org/es-papel-temperatura-aparente-los-contaminantes-articulo-S0300893218302987>

- Secretaria de Planeación- Municipio de Bucaramanga . (2014). *Componente General- Documento Técnico de Soporte/ Plan de Ordenamiento Territorial* . Bucaramanga.
- Soldevila Bacardit, N., Vinyoles Bargalló , E., Agudo Ugena , J., & Campus Vila , L. (2018). Contaminación atmosférica, riesgo cardiovascular e hipertensión arterial. *Hipertensión y Riesgo Vascular*, 35(4), 177-184.
- Trang Nhung, N. T., Schindler, C., Minh Dien, T., Probst- Hensch, N., Perez , L., & Künzli, N. (2018). Acute effects of ambient air pollution on lower respiratory infections in Hanoi children: An eight-year time series study. *Environment International*, 110, 139- 148.
- Tyler , N., Ramírez , C., Acevedo Bohórquez, J., Bocarejo Suescún, J., Velásquez, J. M., Peroza Daza, A. M., & Galarza, D. C. (2013). *Caracterización de la contaminación atmosférica en Colombia* . Bogotá : University College London- Universidad de los Andes .
- Zhao , Y., Jianxiong , H., Zhenwei , T., Tao, L., Weilin , Z., Xing , L., . . . Wenjun , M. (2019). Ambient carbon monoxide and increased risk of daily hospital outpatient visits for respiratory diseases in Dongguan, China. *Science of The Total Environment*, 668, 254- 260.

## Anexos



**Fuente:** Área de estudio Realizado a partir del software ArcGis 10.1, bajo licencia adquirida por laUniversidad Santo Tomás, Por: Diana Carolina Aguillón Gómez,2019.