



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**Relación del contaminante PM10 con enfermedades
respiratorias en el municipio de Rionegro, año 2016.**

**Autor(es)
Valeria García Pabón
Leider Acosta Vélez
Jeeferson Fernández Sierra**

**Universidad de Antioquia
Facultad Nacional de Salud Pública
Medellín, Colombia
2020**



**Relación del contaminante PM10 con enfermedades respiratorias
en el municipio de Rionegro, año 2016.**

**Jeeferson Fernández Sierra
Leider Acosta Vélez
Valeria García Pabón**

**Trabajo de grado optar al título de
Administrador en Salud: énfasis en gestión sanitaria y ambiental.**

**Asesora:
Difariney González Gómez**

**Universidad de Antioquia
Facultad Nacional de Salud Pública
"Héctor Abad Gómez"
Medellín, Colombia
2020**

(Dedicatoria)

Este trabajo se lo agradecemos a Dios y a nuestros seres queridos quienes han sido un pilar fundamental en todo este proceso de aprendizaje y de construcción para la vida profesional.

Tabla de contenido

Resumen	XI
Introducción	13
1. Planteamiento del Problema	15
2. Pregunta de investigación	18
3. Objetivos	18
3.1. Objetivo General.....	18
3.2. Objetivos Específicos.....	18
4. Marco Conceptual	19
4.1. Antecedentes de la contaminación del aire.....	19
4.2. Fuentes de Contaminación.....	20
4.3. Material Particulado	21
4.4. Material Particulado menor a 10 micras (PM10)	22
4.5. Grupos Vulnerables.....	22
4.6. Enfermedades Respiratorias.....	24
5. Marco Territorial	27
5.1. Población.....	28
5.2. Industrialización	28
5.3. Problema Ambiental de Rionegro	29
6. Marco Normativo	30
7. Metodología	31
7.1. Tipo de Estudio	31
7.2. Población.....	31
7.3. Definición de Variables	32
7.4. Fuente de Información	34
7.5. Calidad de la Información	35
7.6. Plan de Análisis	35
8. Consideraciones Éticas	38
9. Resultados	39
9.1 Describir el comportamiento de las concentraciones diarias de PM10 medidas en el año 2016 en el municipio de Rionegro.....	39

9.2. Cuantificar los casos incidentes y las defunciones por causas respiratorias ocurridas en el municipio de Rionegro, año 2016	44
9.3. Establecer el comportamiento de los casos incidentes y las defunciones en relación con las concentraciones de PM10 del año 2016 en el municipio de Rionegro	48
10. Discusión	52
Conclusiones.....	55
Referencias Bibliografías.....	57
Anexos.....	62

Lista de tablas

Tabla 1. Variable de exposición principal

Tabla 2. Variable de resultado

Tabla 3. Co-variables demográficas

Tabla 4. Co-variables: Meteorológicas

Tabla 5. Estadísticos descriptivos de los niveles diarios de concentración de PM₁₀ en el municipio de Rionegro, Antioquia durante el año 2016.

Tabla 6. Estadísticos descriptivos de los niveles diarios de concentración de P.M.₁₀ según variables temporales en el municipio de Rionegro, Antioquia durante el año 2016.

Tabla 7. Estadísticas descriptivas de variables meteorológicas

Tabla 8. Distribución de los casos de enfermedad registrados por enfermedades respiratorias en el municipio de Rionegro durante el año 2016.

Tabla 9. Distribución de los casos de defunciones registradas por enfermedades respiratorias en el municipio de Rionegro durante el año 2016.

Tabla 10. Índices producto de los modelos GAM para las covariables/factores ajustados el contaminante.

Tabla 11. Medidas de significancia y ajuste obtenidas en la construcción de los modelos GAM para los casos de enfermedad.

Tabla 12. Medidas de significancia y ajuste obtenidas en la construcción de los modelos GAM para los casos de defunción.

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación de Rionegro- Antioquia

Figura 2. Mapa del municipio de Rionegro-Antioquia

Figura 3. Serie de tiempo de la concentración semanal de PM10 en la estación UCO

Figura 4 Niveles de concentración del contaminante P.M.₁₀ según el mes de medición en el municipio de Rionegro, Antioquia durante el año 2016.

Figura 5. Concentración de PM10 en la estación de monitoreo según el día de la semana.

Figura 6. Calendario de los niveles diarios de concentración de P.M.₁₀ en el municipio de Rionegro, Antioquia durante el año 2016.

Figura 7. Tendencia temporal de las variables meteorológicas

Figura 8. Distribución porcentual de los casos por enfermedades respiratorias según sexo en el municipio de Rionegro durante el año 2016.

Figura 9. Cantidad de casos reportados según los días de la semana en el municipio de Rionegro durante el año 2016.

Figura 10. Tendencia temporal del conteo mensual de eventos respiratorios agudos, según la clasificación CIE-10, en Rionegro

Figura 11. Distribución porcentual de los casos por enfermedades respiratorias según sexo en el municipio de Rionegro durante el año 2016.

Lista de anexos

- Anexo 1. Solicitud de información meteorológica y ambiental
- Anexo 2. Respuesta de Petición de Información meteorológica y Ambiental
- Anexo 3. Morbilidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs Temperatura
- Anexo 4. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs Humedad relativa
- Anexo 5. Morbilidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs Brillo solar Anexo
6. Morbilidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 y precipitación.
- Anexo 7. Morbilidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs Temperatura + Humedad relativa + Brillo solar + Precipitación
- Anexo 8. Morbilidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs Temperatura + Humedad relativa
- Anexo 9. Morbilidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs Temperatura + Humedad relativa + Brillo solar
- Anexo 10. Morbilidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs Humedad relativa + Brillo Solar + Precipitación
- Anexo 11. Anexo 11. Morbilidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs Humedad relativa + Brillo Solar
- Anexo 12. Morbilidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs todas las covariables y factores
- Anexo 13. Morbilidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs todas las covariables y factores, excepto día
- Anexo 14. Morbilidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs todas las covariables y Festivo
- Anexo 15. Mortalidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs Humedad relativa
- Anexo 16. Mortalidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs Precipitación
- Anexo 17. Mortalidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs Temperatura
- Anexo 18. Mortalidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs Brillo solar
- Anexo 19. Mortalidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs Brillo solar + Precipitación
- Anexo 20. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs

todas las covariables y factores, excepto Festivo
Anexo 21. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs
todas las covariables y día

Glosario

Contaminación: La contaminación es un cambio perjudicial en las características físicas, químicas o biológicas del aire, la tierra o el agua, que puede afectar nocivamente la vida humana o la de especies beneficiosas, los procesos industriales, las condiciones de vida del ser humano y puede malgastar y deteriorar los recursos naturales renovables. (2)

Enfermedades Respiratorias Agudas: La Infección Respiratoria Aguda, es el proceso infeccioso de cualquier área de las vías respiratorias; puede afectar la nariz, oídos, faringe, epiglotis, laringe, tráquea, bronquios, bronquiolos o pulmones. (4)

Material Particulado: Conjunto de partículas sólidas y/o líquidas (a excepción del agua pura) presentes en suspensión en la atmósfera, que se originan a partir de una gran variedad de fuentes naturales o antropogénicas y poseen un amplio rango de propiedades morfológicas, físicas, químicas y termodinámicas. (3)

PM10: se pueden definir como aquellas partículas sólidas o líquidas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, dispersas en la atmósfera, y cuyo diámetro varía entre 2,5 y 10 μm (1 micrómetro corresponde la milésima parte de 1 milímetro). Están formadas principalmente por compuestos inorgánicos como silicatos y aluminatos, metales pesados entre otros, y material orgánico asociado a partículas de carbono (hollín). Se caracterizan por poseer un pH básico debido a la combustión no controlada de materiales. (5)

Abreviaturas

CORNARE: Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare

GBD: Global Burden of Disease (Carga Mundial de la Enfermedad)

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

OMS: Organización Mundial de la Salud

OPS: Organización Panamericana de la Salud

PM: Material Particulado

PM10: Material particulado inferior a 10 micras

SISAIRE: Sistema de Información sobre Calidad del Aire

SISPRO: Sistema Integral de Información de la Protección Social

Resumen

Introducción: Pese a los efectos adversos que provoca la contaminación atmosférica en la salud, en Colombia la mayoría de sus estudios se encuentran enfocados en ciudades principales, realizando pocos en zonas catalogadas como secundarias, que también han tenido un crecimiento importante a nivel productivo, poblacional y vial, y que cuentan con suficiente información para el desarrollo nuevas investigaciones.

Objetivo: Determinar la relación de los niveles del contaminante PM10 con las enfermedades de tipo respiratorio en el municipio de Rionegro, Antioquia en el año 2016.

Metodología: Se buscó determinar la relación entre el contaminante PM10 en el municipio de Rionegro y enfermedades respiratorias agudas asociadas con la clasificación CIE-10, mediante un estudio ecológico de series de tiempo. La información de las concentraciones diarias de PM10 registradas por la estación de monitoreo de la Universidad Católica del Oriente (UCO) se extrajo de la base de datos del SISAIRE; los datos referentes a las variables meteorológicas (humedad relativa, precipitación, brillo solar, temperatura) se tomaron del IDEAM; Las cifras referentes a las muertes por enfermedades respiratorias del periodo de junio de 2016 hasta diciembre del mismo año se descargaron de las plataformas del SISPRO. Además, se realizaron análisis descriptivos y gráficas de series de tiempo, también un Modelo Aditivo Generalizado (GAM) con función de enlace Poisson, con el fin de desarrollar los objetivos planteados.

Resultados: El promedio general de concentraciones del PM10 es de 22.73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación de monitoreo (UCO). La mayoría de los casos de morbilidad corresponden a la subcategoría de J09-J18 Influenza (gripe) y neumonía (35,5%) con 39 casos registrados. La población femenina se vio más afectada por infecciones agudas de las vías respiratorias superiores que la masculina (69% VS 31%). No se encontró asociación significativa entre los casos incidentes y las defunciones en relación con las concentraciones de PM10.

Conclusiones: los niveles de contaminación de PM10 no excedieron los límites máximos diarios estipulados por la normatividad colombiana legal vigente, registrando menos de la mitad del nivel máximo permitido, lo cual indica que a nivel general las cargas contaminantes no fueron tan elevadas, siendo consecuente con el hecho de no encontrar una asociación significativa con respecto a los casos de enfermedades y muertes reportadas.

Palabras clave: Material particulado, contaminación, enfermedades respiratorias, contaminación atmosférica.

Introducción

La contaminación atmosférica representa un problema ambiental de gran relevancia para la sociedad, ya que por acción humana o fenómenos naturales afecta el componente ambiental de manera directa, generando efectos en la salud. A medida que las ciudades crecen sin la implementación de una regulación ni controles adecuados puede aparecer una serie de problemas ambientales, entre ellos la contaminación atmosférica por partículas suspendidas. Entre las partículas suspendidas en las atmósferas se denomina "respirables" a las de un diámetro menor o igual a 10 μm (PM10) por su capacidad de introducirse en las vías respiratorias. (1)

Por ser contaminante cuya vía de entrada al organismo es la inhalatoria, es de esperarse que sus principales efectos sean en las vías respiratorias. Así, los efectos más comúnmente reportados en la salud por exposición a la contaminación del aire son en vías respiratorias (bronquitis, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, neumonía etc.), en el sistema cardiovascular (arritmias, infartos, etc.). De hecho, el efecto agudo en la mortalidad es el efecto tóxico que más se ha estudiado. (2)

En el presente trabajo se pretende dar determinar la relación del contaminante PM10 con las enfermedades respiratorias en el municipio de Rionegro, año 2016, ya que el municipio de Rionegro en los últimos años ha presentado un gran crecimiento urbanístico, con todo lo que representa a nivel vial, económico, de infraestructura, social, etc.; Esto ha contribuido al deterioro de la calidad del aire, por lo tanto podría verse afectada la población por el cambio en las condiciones ambientales de la zona.

La mayor parte de los estudios de calidad del aire realizados en Colombia se encuentran enfocados en ciudades capitales, como Bogotá, Medellín, Cali entre otras, dejando de lado zonas secundarias que también pueden verse afectadas por esta problemática, por lo tanto surge la necesidad de realizar un proyecto en el municipio de Rionegro en el que se abarque el tema de calidad del aire y su afectación poblacional, ya que a diferencia de ciudades principales como Medellín, en Rionegro se pueden encontrar diferentes factores que podrían influir en el deterioro del entorno, debido a que el material particulado proviene en mayor medida de procesos presentes en sectores como la construcción e industria, además de fuentes móviles que circulan dentro de Rionegro y autopistas principales aledañas a este.

El municipio se beneficiará con los resultados del proyecto, ya que se podrá tener mayor comprensión del grado real de afectación en los habitantes con relación a la contaminación atmosférica y así incluir estrategias de vigilancia y control de contaminación dentro del municipio de Rionegro.

Por último, la investigación sirvió de base para que en estudios futuros a realizar utilicen las fuentes de datos disponibles, ya que una de las problemáticas es que hay una cantidad de información almacenada en bases de datos y no hay estudios para el análisis de las mismas. A su vez da pie para que se hagan más estudios de alcance poblacional, esto ayuda a mirar la problemática desde una perspectiva más macro respecto a lo que sucede con la salud de la población en general, mostrando resultados de grupos poblacionales.

El objetivo planteado en la investigación fue determinar la relación del contaminante PM10 con las enfermedades respiratorias en el municipio de Rionegro, en el año 2016. En este trabajo se presentan los resultados y hallazgos de la investigación para lograr dicho objetivo. En el primer apartado se describe el planteamiento del problema, el segundo presenta la metodología indicando el proceso, la población de referencia, la calidad de la información y el procedimiento llevado a cabo con las consideraciones éticas.

En el tercer apartado se encuentran los resultados de acuerdo con cada objetivo específico distribuidos en tres fases. En la primera se describe el comportamiento del contaminante PM10, en la segunda fase se cuantificó los casos incidentes y las defunciones por enfermedades respiratorias agudas. Finalmente en la tercera fase se analiza el comportamiento de los casos incidentes y las defunciones en relación con las concentraciones de PM10 del año 2016 en el municipio de Rionegro. La discusión, las conclusiones y recomendaciones para investigaciones futuras se presentan al final de este informe.

1. Planteamiento del Problema

La contaminación es la alteración del ambiente, sea por cualquier tipo de agente invasor, en su caso puede ser físico, biológico y químico que se representen de forma mayor a lo habitual en el entorno, siendo dañinos para la salud y recursos naturales. (5) Para que la contaminación sea perceptible, el contaminante, sustancia o agente deberá estar en cantidad o concentración exorbitante o lo suficiente como para provocar ese desequilibrio detectable en el medio.

Hay varios tipos de contaminación y agentes adversos que están cambiando y destruyendo la condición adecuada de los principales recursos naturales renovables como el aire, agua, suelo, flora y fauna. Uno de los principales es la contaminación del aire o atmosférica, Según La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera la contaminación atmosférica como una de las más importantes prioridades mundiales en salud (6), donde en un informe de Estado de la salud en el mundo en el 2002, se estimó que la contaminación por partículas emitidas en el aire es causante del 1,4% de todas las muertes en el mundo (6).

Es determinante saber que la mayoría de la población se encuentra expuesta a contaminantes atmosféricos con posibles efectos negativos sobre la salud. El estudio GBD (Carga mundial de la enfermedad) considera que las enfermedades relacionadas con la contaminación atmosférica fueron responsables de 9 millones de muertes prematuras en 2015, 16% de la mortalidad global total. (7)

Las enfermedades no transmisibles representan la mayor parte del total del estudio, con una aproximación del 71%. En 2015, todos los tipos de contaminantes fueron combinados y se observó que el 21% provocó muertes por enfermedad cardiovascular, 26% muertes por cardiopatía isquémica, 23% muertes por obstrucción crónica enfermedad pulmonar y el 43% de las muertes por cáncer de pulmón (8). De lo anterior se deduce que tanto en el estudio GBD como en la OMS plantean la contaminación ambiental como una causa importante de enfermedad, discapacidad y muerte prematura.

Uno de los contaminantes primarios que afecta la salud es el material particulado (MP), este es un compuesto de partículas sólidas difundidas directamente al aire. Se distinguen dos tipos de contaminantes; el PM10 y el PM2.5, los cuales pueden ingresar hasta las vías respiratorias mediante absorción y provocar efectos nocivos en el sistema respiratorio de la persona. (9)

Debido a las consecuencias a nivel de salud que pueden provocar la exposición a contaminantes atmosféricos como el material particulado han llevado a desarrollo de diversas investigaciones en pro de generar soluciones a los problemas que se presentan por causa del deterioro del aire, agua, suelo y alimentos. Gran parte de esos problemas son el resultado del acelerado desarrollo e industrialización de las grandes ciudades, no obstante, se han puesto en marcha programas paralelos de protección al ambiente y a la salud de las poblaciones. (10)

El sistema respiratorio es particularmente vulnerable a las exposiciones ambientales adversas debido al prolongado período postnatal de crecimiento y desarrollo que presenta. Muchos órganos están completamente desarrollados al nacer o completan el proceso en el período postnatal temprano. El pulmón está en desarrollo tanto durante la vida pre como postnatal. El patrón de ramificación de las vías aéreas está completo alrededor de las 16 a 18 semanas de gestación, pero la alveolización sólo empieza en el tercer trimestre. (12) La velocidad del crecimiento alveolar es más rápida en los primeros 18 a 24 meses y la microvasculatura pulmonar se desarrolla durante este período de alveolización. No se sabe cuándo termina el desarrollo alveolar postnatal y las estimaciones, basadas en datos muy limitados, van de 2 a 8 años (12).

Antecedentes

El tema de calidad de aire es un problema actual global según la OMS "La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud. Mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire los países pueden reducir la carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma."(11) La contaminación atmosférica es uno de los problemas ambientales más severos a nivel mundial, generando gran afectación tanto en países desarrollados como en los que se encuentran en desarrollo.

En América se han realizado estudios de calidad del aire en países como México, Chile, Estados Unidos y Colombia, donde el mayor número de estudios realizados en los países mencionados anteriormente fueron enfocados en ciudades capitales debido a que son lugares donde hay gran concentración de personas y alta cantidad de industrias. Conforme a estudios realizados en América se ha encontrado asociación entre el contaminante PM10 con problemas del sistema respiratorio y la disminución de la función pulmonar, ejemplo de ellos son estudios realizados en Río de Janeiro Brasil, Temuco Chile, La Habana Cuba, entre otros estudios también realizados en la región. Según datos de la página de la OPS, en el continente americano hubo 621.562

fallecimientos por enfermedades del sistema respiratorio para el año 2015. En el caso de la región suramericana fueron 271,648 muertes. En Colombia se reportaron 25,823 fallecimientos a causa de estas enfermedades. (13).

Colombia no siendo ajeno a la problemática ambiental, también ha realizado diferentes tipos de investigaciones en ciudades capitales como Medellín, Bogotá y Cali, tal como lo es el estudio "Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños menores de 14 años en Bogotá" y el estudio de "Efectos de la contaminación atmosférica por PM10 sobre las consultas a urgencias por enfermedades respiratorias en menores de 15 años y mayores de 60 años y mortalidad general en Cali, durante 2010-2011". Donde se encuentran resultados similares de asociación del contaminante PM10 con enfermedades de tipo respiratorio, y que en su mayoría se han realizado estudios transversales. No obstante, se hace necesario la carencia de estudios en ciudades intermedias o secundarias, a fin de determinar su grado de contaminación atmosférica, el donde no necesariamente se debe poseer los mismos factores de contaminación de las grandes ciudades.

En Antioquia el tema de contaminación atmosférica se ha encontrado enfocado principalmente en el valle de Aburrá, ya que durante los últimos años la carga contaminante ha ido aumentando considerablemente, donde las partículas y gases interactúan de forma constante con la población, afectando su salud, siendo este un lugar bastante perjudicado por el tema atmosférico debido a su condición geográfica y contar con gran cantidad de industrias emisoras de contaminantes.

El municipio de Rionegro, que en la actualidad consta de gran reconocimiento, debido a su importante evolución en el ámbito industrial durante los últimos años, además que la población residente en el municipio ha aumentado de manera considerable y por ende provoca también un incremento importante en el tráfico vehicular, donde a partir del proceso de combustión realizado por las fuentes de contaminación fijas y móviles presentes se generan diferentes contaminantes.(14) El deterioro de la calidad de aire del municipio de Rionegro está representado en las emisiones generadas por el parque automotor; el asentamiento de industrias con fuentes fijas ubicadas en sectores mixtos, en la generación de material particulado producido por el polvo en épocas de verano en las vías veredales por no estar pavimentadas o adoquinadas y en las quemas a campo abierto sin control; es muy cierto que los informes dados por CORNARE muestran que los niveles de emisión del municipio se encuentran bajo los parámetros permitidos comparados con la norma establecida (resolución 610 de 2010.) estos datos no son representativos para determinar la calidad de aire actual del municipio dado que la ubicación de las estaciones se encuentran fuera del centro del municipio donde se presentan las mayores fuentes de generación de emisiones.(38) Esto hacen notar un incremento en

la carga emitida hacia el entorno y provocando riesgo a la salud de las personas y al medio ambiente en general.

Además, el acelerado crecimiento de la población y las actividades económicas han hecho que Rionegro crezca de manera importante pero también que el problema de la contaminación del aire generado por los procesos mencionados anteriormente sea más profundo y de mayor cuidado, ocasionando mayor exposición en la comunidad que reside en Rionegro a los diferentes contaminantes generados.

2. Pregunta de investigación

¿Cuál es la relación del contaminante PM10 con enfermedades respiratorias en el municipio de Rionegro, año 2016?

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Determinar la relación del contaminante PM10 con las enfermedades respiratorias en el municipio de Rionegro, Antioquia, año 2016.

3.2. Objetivos Específicos.

Describir el comportamiento de las concentraciones diarias de PM10 medidas en el año 2016 en el municipio de Rionegro.

Cuantificar los casos incidentes y las defunciones por causas respiratorias ocurridas en el municipio de Rionegro, año 2016.

Establecer el comportamiento de los casos incidentes y las defunciones en relación con las concentraciones de PM10 del año 2016 en el municipio de Rionegro

4. Marco Conceptual

4.1. Antecedentes de la contaminación del aire

En el desarrollo histórico de la civilización, la contaminación del aire se vio como una fuente potencial de problemas de salud. Ejemplo de ello se vio en la antigua Grecia donde las fuentes de olor, de basura y otras, debían mantenerse a cierta distancia de la ciudad. En Roma existieron pleitos civiles por la contaminación de humo, estos fueron llevados a tribunales y hubo intento de mantener industrias contaminantes fuera de los suburbios ricos. (15)

La madera era utilizada como el principal combustible en las ciudades de la antigüedad, no fue sino hasta el siglo XIII que se vivió la escasez de madera a causa del agotamiento de los bosques. Debido a esto en Londres se empezó a utilizar otro tipo de combustible como el carbón en grandes cantidades. En la década de 1280 el problema de humo a causa del abuso de la utilización del carbón se volvió tan severo como para necesitar una regulación. (15)

Las autoridades medievales tenían pocas opciones cuando trataban de controlar la contaminación del aire a partir del carbón. Podrían aplicar multas por usar carbón o simplemente prohibirlo como combustible. También hubo intentos de colocar industrias humeantes al abrigo de ciudades más allá de sus muros. Las cuestiones económicas también fueron relevantes y, aunque las importaciones de carbón se grabaron, los ingresos obtenidos probablemente no se utilizaron para reparar el daño causado por la contaminación del aire hasta el siglo XVII (Brimblecombe, 1992).

En el Siglo XVII el clima se había vuelto más frío, las bajas temperaturas habían llevado a una mayor demanda de combustible doméstico, en un momento en que era intransitable la importación de la madera, se recurrió al carbón marino como principal combustible de elección pero esto evidenció que los efectos del humo pronto se hicieron significativos. (15)

Actualmente en varias partes del mundo se han vivido varios episodios de alta concentración por contaminación atmosférica, como lo es el caso de la ciudad de Pekín donde hay constantes alertas por la inadecuada calidad del aire como es el caso de la alerta que se generó el 2013 donde las mediciones llegaron a 993 microgramos por metro cúbico de material particulado, en algunos casos por micro partículas. El 2017 en la ciudad de Nueva Delhi también se registró una gran alteración del medio, en la cual los niveles no pudieron ser calculados por qué se llegó al tope de los medidores. (16)

La contaminación del aire es actualmente uno de los problemas ambientales más severos a nivel mundial, Está presente en todas las sociedades, independientemente del nivel de desarrollo socioeconómico y constituye un fenómeno que tiene particular incidencia sobre la salud del hombre.

La contaminación atmosférica es una de las formas o maneras en que puede ser afectado parte del ambiente. Un experto en el tema describe la contaminación como "la emisión al aire de sustancias peligrosas a una tasa que excede la capacidad de los procesos naturales de la atmósfera para transformarlos, precipitarlos y depositarlos o diluirlos por medio del viento y el movimiento del aire" (R Yassi). (17)

El aire está conformado por diversos componentes tales como el Oxígeno (O₂), el cual corresponde casi al 21% de su composición, el Nitrógeno (N₂) que representa cerca de un 75% y otros elementos como el Helio (He₂), Dióxido de Carbono (CO₂), Hidrógeno (H₂), Metano (CH₄) y vapor de agua. Pero a consecuencia de las diferentes actividades llevadas a cabo por el hombre se ha modificado la composición base, incluyendo en este varios elementos como; el Dióxido de Azufre (SO₂), Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno (NO_x) y algunas variedad de partículas sólidas y líquidas que son llamadas material particulado. (2)

La contaminación del aire es la alteración del ambiente, sea por cualquier tipo de agente invasor, en su caso puede ser físico, biológico y químico que se representen de forma mayor a lo habitual en el entorno, generando deterioro y destrucción para la salud del ambiente y recursos naturales. (1)

4.2. Fuentes de Contaminación

Las fuentes de contaminación del aire pueden ser naturales o antropogénicas: dentro de la fuentes naturales se puede encontrar las erupciones volcánicas que pueden generar materiales particulados y gaseosos como el Dióxido de azufre, ácido sulfúrico y metanol; otra fuente natural que contribuye a la contaminación atmosférica son los incendios forestales, que generan monóxido de carbono, Óxidos de nitrógeno, material particulado y cenizas. Las fuentes antropogénicas son causadas por la actividad del hombre, estas fuentes se dividen a su vez en dos fuentes principales, las cuales son fuentes móviles y fuentes fijas; las fuentes fijas son aquellas que permanecen en un mismo lugar y su contaminación afecta el área cercana. De forma relevante se encuentra la industria metalúrgica, las canteras entre otras, que a su vez generan una variedad de contaminantes tanto gaseosos y particulados. Las fuentes móviles son aquellas que pueden trasladarse de un lado a otro y su área de influencia no está determinada ya que están en constante movimiento y sus principales contaminantes son derivados del combustible fósil. (18)

4.3. Material Particulado

La alteración del aire se debe principalmente a dos grandes grupos de contaminantes, los cuales son; contaminantes particulados y gaseosos: entre estos últimos contaminantes gaseosos los principales son el dióxido de azufre (SO₂), los óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y ozono (O₃). Mientras en los contaminantes particulados encontramos las partículas suspendidas totales (PST), las cuales se definen como todas las partículas suspendidas en el aire. Las cuales incluyen los contaminantes primarios como hollín y polvo y contaminantes secundarios como las partículas líquidas producidas por la condensación de vapores. (19)

En este grupo también encontramos el material particulado menor a 10 micras (PM₁₀), también llamadas partículas inhalables, son las partículas menores a 10 micrómetros pero más grandes que 2.5 micrómetros de diámetro. Al igual podemos encontrar el material particulado menor a 2,5 micras (PM_{2,5}), estas últimas están constituidas por aquellas partículas de diámetro aerodinámico inferior o igual a los 2,5 micrómetros, es decir, son 100 veces más delgadas que un cabello humano. En el caso de las PM_{2,5}, su origen está principalmente en fuentes de carácter antropogénicas como las emisiones de los vehículos diésel. (2) (20) y por último encontramos las partículas inferiores a 1 micra (PM₁) y las partículas ultra finas. Las cuales corresponden a partículas iguales o inferiores a 0,1 micras. (21)

Se dice que el material particulado (MP) es un conjunto de partículas sólidas y líquidas emitidas directamente al aire, tales como el hollín de diésel, polvo de vías, el polvo de la agricultura y las partículas resultantes de procesos productivos (3). Este contaminante, en la actualidad ha sido de los más estudiados en el mundo, cuando hablamos de material particulado se define como el conjunto de partículas sólidas y/o líquidas presentes en la atmósfera. La presencia de este contaminante ocasiona variedad de impactos a la fauna, flora y al hombre, en este último actúan sobre un sistema inmunológico y respiratorio en desarrollo, lo que aumenta la posibilidad de efectos negativos sobre la maduración estructural y funcional del aparato respiratorio en los niños. Las consecuencias de los contaminantes sobre la salud dependen del tipo de contaminante, su tamaño de partícula, concentración y solubilidad. También influye el tiempo de exposición, la edad y la susceptibilidad individual. Estas sustancias interactúan con el sistema inmune e inducen cambios genéticos pro inflamatorio, lo que puede causar, desencadenar o agravar numerosas enfermedades. (28) Además, la presencia del material particulado está asociada con el incremento del riesgo de muerte por causas cardiopulmonares en adultos. Según la normatividad colombiana, el PM no

sedimenta en períodos cortos sino que permanece suspendido en el aire debido a su tamaño y densidad (Resolución 610 de 2010) (MAVDT, 2010).

4.4. Material Particulado menor a 10 micras (PM10)

Las PM son un indicador representativo común de la contaminación del aire, Afectan a más personas que cualquier otro contaminante. Los principales componentes de las PM son los sulfatos, los nitratos, el amoníaco, el cloruro de sodio, el hollín, los polvos minerales y el agua. Consisten en una compleja mezcla de partículas sólidas y líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire. Si bien las partículas con un diámetro de 10 micrones o menos (\leq PM10) pueden penetrar y alojarse profundamente dentro de los pulmones, existen otras partículas aún más dañinas para la salud, que son aquellas con un diámetro de 2.5 micras o menos (\leq PM2.5). Las PM2.5 pueden atravesar la barrera pulmonar y entrar en el sistema sanguíneo. La exposición crónica a partículas contribuye al riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como cáncer de pulmón. (30)

Los PM10 están constituidos por material líquido y sólido de muy diversa composición y tamaño, que se encuentran en el aire y pueden ser generadas tanto por fuentes móviles como estacionarias, de manera natural o antropogénicas. Se asocian generalmente a la combustión no controlada, algunas están relacionadas con la desintegración mecánica de la materia o la re suspensión de partículas en el ambiente. Esto incluye procesos de combustión en vehículos, principalmente aquellos que usan diésel, industrias de fundición, pinturas, cerámica y plantas de energía. Se ha establecido que las partículas se encuentran constituidas por 7 componentes químicos o especies: material geológico, sulfatos de amonio, nitratos de amonio, material orgánico, carbón elemental, sales y elementos trazas. (18)

4.5. Grupos Vulnerables

Todos estos contaminantes afectan a la población en general, pero en especial a los grupos vulnerables, en estos grupos están: los niños, los ancianos, las personas que padecen enfermedades crónicas respiratorias o cardiovasculares.

El primer grupo vulnerable son los niños, que en comparación con los adultos, presentan una vulnerabilidad especial al ambiente. Esto es principalmente debido a la inmadurez fisiológica y a diferencias en la exposición. En el caso de los contaminantes atmosféricos en que la exposición ocurre vía inhalación, la vulnerabilidad es mayor debido a que las vías aéreas y los alvéolos se están desarrollando todavía. Por otro lado, el niño suele pasar más tiempo en el

exterior que los adultos, hay que tener en cuenta que los niños, inhalan el doble de aire que los adultos. (24)

Otro de los grupos vulnerables son los ancianos; estas personas son vulnerables debido a que pueden tener presencia de alguna enfermedad crónica o degenerativa que dañe su sistema inmunológico sobre todo en las épocas donde es importante protegerlos de la exposición a contaminantes atmosféricos y enfermedades atmosféricas.(25)

Por último grupo vulnerable se encuentran las personas con enfermedades respiratorias y cardiovasculares las cuales pueden sufrir complicaciones debido a la limitación que muchos de los contaminantes atmosféricos causan al sistema respiratorio, ya que la entrada de agentes infecciosos y compuestos tóxicos contenidos en el ambiente pueden ingresar en el trayecto de los pulmones y alveolos desde allí se presentan graves daños a la salud del paciente. (26)

La exposición de la población a la contaminación del aire está siempre presente y de forma involuntaria, dicha exposición puede ocasionar efectos fisiológicos inapreciables hasta enfermedades y muerte. Son bastantes los efectos de corto y largo plazo que la contaminación atmosférica puede ejercer sobre la salud de las personas. Ciertamente, la contaminación del aire urbano aumenta el riesgo de pasar por enfermedades respiratorias agudas, como la neumonía, y crónicas, como el cáncer del pulmón y las enfermedades cardiovasculares. (26)

Se calcula que en todo el mundo el 24% de la carga de morbilidad (años de vida sana perdidos) y aproximadamente el 23% de todas las defunciones (mortalidad prematura) eran atribuibles a factores ambientales. En los niños de 0 a 14 años, el porcentaje de muertes que podían atribuirse al medio ambiente era de hasta un 36%. Había grandes diferencias entre regiones en la contribución del medio ambiente a las diversas enfermedades, debido a diferencias en la exposición ambiental y el acceso a la atención sanitaria entre las diversas regiones. Por ejemplo, aunque el 25% de todas las muertes registradas en las regiones en desarrollo eran atribuibles a causas ambientales, en las regiones desarrolladas sólo el 17% de las muertes se atribuían a estas causas, según la OMS. (6)

Las infecciones de las vías respiratorias inferiores están asociadas a la contaminación del aire en locales cerrados, relacionada en gran medida con la utilización de combustible sólido en los hogares y posiblemente con la exposición pasiva al humo del tabaco, así como con la contaminación del aire exterior. En los países desarrollados, aproximadamente el 20% de estas

infecciones son atribuibles a causas ambientales, y en los países en desarrollo ese porcentaje llega hasta un 42%. (27)

El material particulado al ingresar al cuerpo de la persona mediante la inhalación genera efectos adversos, situándose y aglomerándose inicialmente en los tejidos de las vías respiratorias, provocando lesiones en estas y derivando en inflamaciones. (30)

4.6. Enfermedades Respiratorias

La Organización Mundial de la Salud expone que las enfermedades respiratorias afectan a las vías respiratorias, incluidas las vías nasales, los bronquios y los pulmones. Incluyen desde infecciones agudas como la neumonía y la bronquitis a enfermedades crónicas como el asma y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica. Existen diversos contaminantes que pueden generar diversos cambios en la salud y estos se dividen en: a) agudos, como irritación de ojos y nariz, aumento de las infecciones respiratorias agudas (IRA) altas y bajas, exacerbaciones del asma bronquial, de enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), de cardiopatías y aumento de las tasas de mortalidad y b) efectos crónicos o diferidos, como el cáncer pulmonar, que es el más representativo, una vez se produce el ingreso de las partículas inhaladas, estas se depositan en diferentes partes del tejido de las vías respiratorias superiores e inferiores por mecanismos de impacto y de sedimentación, los cuales, exponen a las mucosas ricas en elementos inmunológicos, a promover una respuesta de defensa a través de la inflamación. Está a su vez, genera un aumento de la permeabilidad de las membranas de las mucosas de las vías respiratorias y de los sacos alveolares si es el caso; generando una concentración de líquidos en espacio extravascular, más el acumulo de sustancias pro-inflamatorias que se encargan de atacar o eliminar el material extraño o antígeno, pero que también generan lesiones. (22)

Sin embargo los efectos sobre la salud respiratoria están mediados por diversos factores tales como:

Sensibilidad del receptor producida por:

- 1) Factores fisiológicos y biológicos: tales como la edad, sexo, condición física, educación, disponibilidad de servicios de salud.
- 2) Factores comportamentales: como tabaquismo, permanencia en exteriores o interiores durante el día.
- 3) Factores genéticos y presencia de comorbilidad. (29)

Aspectos del contaminante. Hay cuatro aspectos a tener en cuenta para determinar la exposición del contaminante:

- 1) La naturaleza del contaminante: Químico (gases, material particulado, metales pesados, halógenos, ácidos, insecticidas), físico (ruido, radiación, temperatura, humedad, vibración) o biológico (virus, hongos, bacterias, gusanos). Para el caso del PM10 se considera un contaminante con propiedades químicas.
- 2) Intensidad: Concentración del contaminante en el medio, que integrado con la duración del contacto define la exposición. La concentración de contaminantes depende de factores meteorológicos como la temperatura, la velocidad del viento, entre otras.
- 3) Duración: Se han definido los siguientes períodos de tiempo de exposición: a) corto plazo (segundos, minutos, horas o días), b) largo plazo (semanas, meses, años o toda la vida), y c) la exposición acumulativa que es la exposición total en un periodo de tiempo determinado (12).
- 4) Frecuencia: Las concentraciones de agentes potencialmente dañinos difieren en relación con el tiempo del día, semana o temporada, etc. y entre diferentes entornos. Información sobre cómo la gente usa su tiempo puede influir en la exposición considerablemente.

Además, se ha establecido la relación entre material particulado y la salud pública. Los efectos en la salud son amplios, relacionados en algunos casos con síntomas en las vías respiratorias superiores, como reacciones alérgicas, congestión nasal, sinusitis, tos, irritación en los ojos, entre otros. En otros casos se relacionan con síntomas en las vías respiratorias inferiores, que requieren un tratamiento especial, como bronquitis, asma, enfisema, entre otros. También se presentan problemas severos, como cáncer de pulmón y anomalías reproductivas. Una amplia evidencia muestra cómo el riesgo de problemas respiratorios o cardiovasculares aumenta con la exposición, y algunos estudios revelan un valor mínimo por debajo del cual no existan efectos adversos en la salud.(14)

Para el desarrollo de la investigación solo se tendrán en cuenta las enfermedades respiratorias que se determinaron por medio de la clasificación internacional de enfermedades, (CIE-10).

- (J00 a J06) Infecciones agudas de las vías respiratorias superiores.
- (J09–J19) Influenza (gripe) neumonía.
- (J20-J22) Enfermedades respiratorias inferiores agudas.
- (J30 a J39) Otras infecciones agudas de las vías respiratorias superiores.
- (J40 a J47) Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores.

Infecciones agudas de las vías respiratorias superiores: Las infecciones de las IVRAS ocurren por algún factor desencadenante de una respuesta inflamatoria, pero que resuelve o se normaliza en pocos días. Las enfermedades de las vías respiratorias superiores son entre otras las que se comprenden en los subcapítulos del CIE 10 de la J00 a J06 y del J20 a J39 en las cuales están las siguientes enfermedades como la rinitis, faringitis, laringitis y amigdalitis. (30)

J09 a J19 Influenza (gripe), neumonía: La influenza es una infección viral aguda de las vías respiratorias, altamente contagiosa. Es causada por el virus de la influenza A, B y C. La enfermedad frecuentemente requiere de atención médica y hospitalización, contribuyendo sustancialmente a pérdidas económicas. (32). La neumonía es un proceso inflamatorio agudo del parénquima pulmonar de origen infeccioso. Los microorganismos pueden llegar al pulmón por vías diferentes: micro aspiraciones de secreciones oro faríngeas (la más frecuente), inhalación de aerosoles contaminados, vía hemática o por contigüidad; y coincide con una alteración de nuestros mecanismos de defensa (mecánicos, humorales o celulares) o con la llegada excesiva de gérmenes que sobrepasan nuestra capacidad normal de "aclaramiento". (23).

Infecciones de las vías respiratorias inferiores: Las infecciones de las VRI responden a procesos inflamatorios transitorios o desencadenados repentinamente, pero que con un oportuno tratamiento, no presentan un riesgo importante de falla respiratoria o incapacidad funcional.(30) Las enfermedades agudas de las vías aéreas inferiores son entre otras las comprendidas en los subcapítulos del CIE 10 J20 a J22 y J40 a J47, en estos se encuentran enfermedades como bronquitis, bronconeumonía, traqueítis, edema pulmonar y hasta el síndrome de insuficiencia respiratoria aguda.

5. Marco Territorial

Rionegro es un municipio colombiano ubicado en el departamento de Antioquia. Se encuentra en el valle de San Nicolás o también llamado altiplano del oriente, en la subregión Oriente, siendo la población más grande, así como la que concentra el mayor movimiento económico de la subregión. Limita al norte con los municipios de Guarne y San Vicente, por el este con los municipios de Marinilla y El Carmen de Viboral, por el sur con el municipio de La Ceja, y por el oeste con los municipios de El Retiro, Envigado y Medellín. El municipio cuenta con una extensión total de 196 km², cuenta con una temperatura promedio en el casco urbano de Rionegro es de 18.5 °C (IDEAM 2013) y se encuentra ubicado aproximadamente a 47.9 Km de distancia del municipio de Medellín. (14)

En el contexto territorial y demográfico, Rionegro se ha convertido en la segunda ciudad intermedia del oriente antioqueño Rionegro concentra una variada oferta de bienes y servicios que le sirve no sólo a los habitantes de la ciudad sino también a los de los municipios cercanos, generando una dinámica social, económica y laboral. (15)



Figura 1. Ubicación de Rionegro - Antioquia



Figura 2. Mapa del municipio de Rionegro – Antioquia

5.1. Población

De acuerdo con las cifras presentadas por el DANE del censo 2005, Rionegro cuenta con una población de 122.231 habitantes, siendo ésta la sexta aglomeración urbana del Departamento de Antioquia. El municipio cuenta con una densidad poblacional de aproximadamente 466 habitantes por kilómetro cuadrado. El 48,6 % de la población son hombres y el 51,4 % mujeres. La ciudad cuenta con una tasa de analfabetismo del 5,7.1% en la población mayor de 5 años de edad. (33)

5.2. Industrialización

Tradicionalmente las principales industrias del municipio han sido agrícolas, despensa de hortalizas, frutas, productos lácteos, flores, café, caña, entre otros productos factibles de exportación aérea. (14) Además La economía del municipio principalmente se basa en la industria se cuenta con grandes empresas como la Nacional de chocolates, El Hospital San Vicente Fundación de Rionegro, Pintuco, Mundial de Servicios Logísticos e Imusa, el turismo también es un gran aportador a la economía del municipio.

El ligero crecimiento de la población, las actividades económica e industrial, la urbanización del área rural, han hecho que Rionegro inicie su transformación a una cultura de ciudad. (14) Debido a esto ha habido un aumento considerable en la población residente en este, donde durante los últimos años ha contado con una tasa de crecimiento urbano aproximada al 2.28% anual, según el DANE.

5.3. Problema Ambiental en Rionegro

Con un claro proceso de urbanización, con vías cada vez más saturadas y una industria expandiéndose de manera considerable, la calidad del aire también sufre graves deterioros, donde se tiene como uno de los principales focos de contaminación la autopista Medellín-Bogotá por la que circulan aproximadamente 16 mil vehículos cada día en semana; lo que representa un gran desafío, equilibrar el crecimiento acelerado del municipio de Rionegro con la sostenibilidad ambiental, para que la ciudad que comienza a crecer prevenga en primera instancia o mitigue los efectos de estos avances. (14)

En el proceso de combustión presente en actividades industriales y tránsito de automotores se genera un desprendimiento de material particulado, el cual es arrastrado por el viento, interactuando de manera directa con la comunidad. A pesar de esto, no se hace un monitoreo de calidad de aire continuo en el municipio, mediante el cual se pueda llevar a cabo un seguimiento de las cargas contaminantes emitidas al entorno, especialmente al material particulado y su nivel de afectación en la salud de la población residente en el territorio, debido a que solo se realizan campañas en un lapso de tiempo corto, estas encabezadas por la entidad CORNARE. En las campañas realizadas se han hecho seguimiento al material particulado inferior a 10 micras e inferior a 5 micras, donde se toman un conjunto de días seguidos para medir el comportamiento del PM y otros contaminantes durante ese periodo de tiempo. (14)

Estas actividades generan impactos ambientales de gran magnitud, por lo tanto se debe velar por garantizar la mitigación de los efectos adversos en el entorno, partiendo desde las fuentes generadoras de contaminación, mediante un control adecuado, debido a que no ejercer controles frente a este tipo de actividades podría incidir en transformaciones al medio ambiente, impactando en los recursos hídricos, biológicos, atmosféricos y socio-económico

6. Marco Normativo

El marco normativo aplicable a las acciones realizadas durante la ejecución del proyecto, está motivado y fundamentado básicamente en los siguientes lineamientos mencionados a continuación, la calidad del aire en la historia de Colombia se evidencia primero en los 70's con el Decreto 2811 de 1974 que es el Código de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente donde Según el artículo 73 de dicho decreto, corresponde al gobierno mantener la atmósfera en condiciones que no causen molestias o daños o interfieran el desarrollo normal de la vida humana, animal o vegetal y de los recursos naturales renovables.

En el año 1995 se creó el decreto 948 que es el reglamento de protección y control de la Calidad del Aire allí se establecen las normas y principios generales para la protección atmosférica, los mecanismos de prevención, control y atención de episodios por contaminación del aire, generada por fuentes contaminantes fijas y móviles, El CONPES 3344 de 2005 ordenan criterios para la formulación de políticas y estrategias intersectoriales para la prevención y el control de la contaminación del aire en las ciudades y zonas industriales de Colombia.

El 30 de enero de 2006 se dicta la comisión Técnica Nacional Intersectorial para la Prevención y el Control de la contaminación del aire, esto busca asegurar la coordinación intersectorial a nivel público de las políticas, planes y programas de carácter nacional, para prevenir y controlar la contaminación del aire, luego a esto establecen las normas y los estándares de contaminantes al aire para fuentes fijas, adopta los procedimientos de medición de emisiones para fuentes fijas y reglamenta los convenios de reconversión a tecnologías limpias en la resolución 909 de 2008. Dos años después dicho reglamento se modifica para todo el territorio nacional en condiciones de referencia, se establece la concentración y tiempo de exposición de los contaminantes para los niveles de prevención, alerta y emergencia. En el mismo año se adopta la resolución 650, donde se acoge a nivel nacional el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire.

Por último, se encontró la resolución 2254 de 2017 donde se determina la norma de calidad de aire o nivel de inmisión, en esta norma se adopta disposiciones para la gestión del recurso aire en el territorio nacional con el fin de garantizar un ambiente sano y minimizar el riesgo sobre la salud humana que pueda ser causado por la exposición a los contaminantes en la atmosfera.

7. Metodología

7.1. Tipo de Estudio

El tipo de estudio desarrollado es ecológico de series de tiempo, mediante el cual se evaluó la afectación provocada por la contaminación atmosférica, especialmente la emisión de PM10 al ambiente y su grado de influencia en las enfermedades respiratorias agudas (morbilidad, mortalidad) que afectan a un conjunto de personas.

El presente trabajo se realizó en el municipio de Rionegro, Antioquia, donde la población analizada es la totalidad de los individuos que han sufrido enfermedades respiratorias agudas durante el año 2016, basándose en mediciones generales de eventos en salud y de la exposición, extrayendo la información de diferentes bases de datos estatales.

En este estudio se asignó la misma exposición (exposición promedio) a todo el conglomerado, no considerando la variación individual de cada miembro del conjunto de individuos. Lo mismo sucede con la medición de las enfermedades respiratorias, dado que sólo se cuenta con el número de eventos registrados para el conglomerado. Además, se determinó como variable dependiente las muertes asociadas con las enfermedades respiratorias y como variables independientes la concentración diaria de PM10 en el municipio de Rionegro y las variables meteorológicas (humedad relativa, precipitación, brillo solar, temperatura).

7.2. Población

La población de estudio corresponde a todo el público que se encontró en los registros de la base de datos de morbi – mortalidad en el Sistema Integral de Información de la Protección Social (SISPRO) del municipio de Rionegro – Antioquia durante el año 2016.

7.3. Definición de Variables

Tabla 1. Variable de exposición principal

Variable	Definición operacional	Tipo de variable	Valores posibles	Método de recolección
PM ₁₀	Concentración de PM ₁₀ horario de la estación de monitoreo Universidad Católica del Oriente (UCO)	Cuantitativa Continua	Valor obtenido durante el monitoreo. Unidad de medida: microgramos por metro cúbico	información extraída de las base de datos de la plataforma SISAIRE

Tabla 2. Variable de resultado

Variable	Enfermedad	Definición operacional	Tipo de variable	Valores posibles	Método de recolección
Número de Eventos de enfermedades respiratorias	Infección Respiratoria Aguda: J00 - J06	Numero diario de pacientes con IRA que asiste a las instituciones de salud	Cuantitativa discreta	1, 2, 3,..	Base de datos de la plataforma SISPRO
	Gripe y Neumonía : J09- J19	Numero diario de pacientes con Gripe y neumonía que asiste a las instituciones de salud	Cuantitativa discreta	1, 2, 3,..	Base de datos de la plataforma SISPRO
	Enfermedades respiratorias inferiores agudas J20 - J22	Numero diario de pacientes con Enfermedades respiratorias inferiores agudas que	Cuantitativa discreta	1, 2, 3,..	Base de datos de la plataforma SISPRO

		asiste a las instituciones de salud			
	Otras enfermedades de las vías respiratorias superiores J30-J39	Numero diario de pacientes con otras enfermedades de las vías respiratorias superiores que asiste a las instituciones de salud	Cuantitativa discreta	1, 2, 3,..	Base de datos de la plataforma SISPRO
	Enfermedades respiratorias inferiores crónicas J40 - J47	Numero diario de pacientes con enfermedades respiratorias inferiores crónicas que asiste a las instituciones de salud	Cuantitativa discreta	1, 2, 3,..	Base de datos de la plataforma SISPRO

Tabla 3. Co-variables demográficas

Variable	Definición operacional	Tipo de variable	Valores posibles	Método de recolección
Edad	Edad del paciente en años cumplidos	Cuantitativa a continua	0-15 y 60-mas	Base de datos de la plataforma SISPRO
Sexo	Sexo del paciente	Categórica nominal	Masculino Femenino	Base de datos de la plataforma SISPRO
Numero de eventos	Eventos de enfermedades respiratorias registrados.	Cuantitativa discreta	1, 2, 3,...	Base de datos de la plataforma SISPRO
Fecha	Momento de toma de muestra	Categórica nominal	DD/MM/AAAA	Base de datos de la plataforma SISPRO

Día	Día de toma de muestra	Catagórica nominal	Lunes Martes Miércoles Jueves Viernes Sábado Domingo	Base de datos de la plataforma SISPRO
-----	------------------------	--------------------	--	---------------------------------------

Tabla 4. Co-variables: Meteorológicas

Variable	Definición operacional	Tipo de variable	Valores posibles	Método de recolección
Temperatura	Temperatura promedio diaria	Cuantitativa continua	Valor obtenido en el monitoreo del IDEAM Unidad de medida: Grados centígrados	Base de datos diligenciada por el IDEAM
Humedad relativa	Humedad relativa promedio diaria	Cuantitativa continua	Valor obtenido en el monitoreo del IDEAM	Base de datos diligenciada por el IDEAM
Brillo solar	Brillo solar promedio diaria	Cuantitativa continua	Valor obtenido en el monitoreo del IDEAM.	Base de datos diligenciada por el IDEAM
Precipitación	Precipitación promedio diaria	Cuantitativa continua	Valor obtenido en el monitoreo del IDEAM	Base de datos diligenciada por el IDEAM

7.4. Fuente de Información

Se contó con la autorización oficial de acceso para las fuentes secundarias que contienen los datos requeridos de los habitantes del municipio. Para la ejecución del presente trabajo se utilizaron tres fuentes de información secundarias, mediante las cuales se extrajeron datos necesarios para realizar los análisis que contribuyeron a la fundamentación del proyecto. Las fuentes

secundarias son: Sistema Integral de Información de la Protección Social (Sispro), allí se descargó la información relacionada con el tema de la salud (morbi – mortalidad) en este caso las enfermedades respiratorias agudas clasificadas en las CIE-10, la segunda fuente es el Subsistema de Información sobre Calidad del Aire (Sisaire), en esta se observaron los niveles diarios del contaminante (PM10) de la estación de monitoreo en la Universidad Católica del Oriente (UCO). y por último, se extrajo la información de temperatura, precipitación, brillo solar y humedad relativa de las bases de datos del instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para el municipio de Rionegro – Antioquia del año 2016.

7.5. Calidad de la Información

Para la estructuración de las bases de datos que contribuyeron al desarrollo de esta investigación, se tuvo en cuenta información ambiental, meteorológica y de salud. Además, Para el control de calidad de la información recolectada, se ingresaron los datos en una base electrónica diseñada para tal fin, llevada a cabo por los tres integrantes del grupo de trabajo. El análisis estadístico de la información se realizó mediante el programa SPSS V.26 y software R mediante la importación de la base de datos.

Durante la entrada de datos, se registró en un formato los datos faltantes y debido a la carencia de algunas cifras diarias sobre las concentraciones del contaminante PM10 registradas por la estación de monitoreo de la universidad católica del oriente (UCO), y con el objetivo de hacer estimaciones incluyendo todos los días y evitar pérdidas debido a un menor número de datos, se realizó un proceso de sustitución de datos mediante imputación simple por la media, donde se reemplazaron algunos valores ausentes por la media maestra de los valores presentes en los demás días.

7.6. Plan de Análisis

Para la obtención de la información que contribuya al desarrollo del proyecto es necesario contar con información de:

- SISAIRE
- IDEAM
- SISPRO

Para alcanzar el objetivo número uno: Describir el comportamiento de las concentraciones diarias de PM10 medidas en el año 2016, en el municipio de Rionegro, se calcularon las mediciones diarias, con promedios de 24 horas, determinadas por la estación de monitoreo de la Universidad Católica del Oriente (UCA), utilizando como fuente de información los datos existentes en

las bases de datos del Sistema de Información sobre Calidad del Aire (SISAIRE).

Mediante el análisis de tendencia del PM10 y apoyándose en gráficos de series de tiempo y estadísticas descriptivas se define el comportamiento de las concentraciones del presente contaminante con sus respectivas variaciones diarias, semanales y mensuales, además de las variables meteorológicas (brillo solar, temperatura, humedad relativa y precipitación) y la posible influencia en las concentraciones de PM10.

También se analizaron los días en que fue monitoreado el PM10 en el municipio de Rionegro, comparando los datos arrojados por el SISAIRE y los niveles máximos permisibles impuestos por la resolución 2254 de 2017 (normatividad colombiana) y así definir la cantidad de días en que los niveles de contaminación superaron los estándares nacionales.

Con respecto al objetivo número dos: Cuantificar los casos incidentes y las defunciones por causas respiratorias ocurridas en el municipio de Rionegro, año 2016; inicialmente es necesario determinar la morbilidad y mortalidad asociada con las enfermedades respiratorias agudas según el CIE-10.

La información secundaria fue obtenida mediante las bases de datos del sistema de datos integral de información de la protección social (SISPRO). Se desarrolló durante el periodo de 14 de junio del en el año 2016 y el 31 de diciembre del mismo año, realizando una recolección de datos simultáneamente con los referentes a las variables meteorológicas y las concentraciones del contaminante PM10.

Se analizaron los casos que se presentaron por periodo, tomando como referencia desde lo diario, semanal y mensual. Se analizó cuáles fueron las causas más frecuentes, además de tener en cuenta el sexo y la edad; las enfermedades que afectaron más al género femenino o masculino. Para llevar a cabo esta cuantificación se tomó como apoyo estadísticas descriptivas, figuras que muestran la cantidad de casos por subgrupos, además de tablas que representan la frecuencia de casos con sus respectivos porcentajes.

Las enfermedades respiratorias agudas se determinaron por medio de la clasificación internacional de enfermedades (CIE-10):

- (J00 a J06) Infecciones agudas de las vías respiratorias superiores
- (J09–J19) Influenza (gripe) neumonía
- (J20-J22) Enfermedades respiratorias inferiores agudas
- (J30 a J39) Otras infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores
- (J40 a J47) Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores.

Se calcularon estadísticos descriptivos como medidas de resumen, a saber, medidas de tendencia central, medidas de posición y medidas de dispersión. Para los datos de mortalidad se calcularon las tasas específicas por causas.

Para alcanzar el objetivo número tres: Establecer el comportamiento de los casos incidentes y las defunciones en relación con las concentraciones de PM10 del año 2016 en el municipio de Rionegro y luego de haber descrito el comportamiento de las variables en los objetivos anteriores, se buscó determinar el grado de asociación entre las concentraciones diarias de PM10 registradas y las muertes provocadas por las enfermedades respiratorias agudas, según la clasificación del CIE10. Teniendo en cuenta que en la información referente al PM10 se identificaron datos faltantes alrededor del 22%, además de no contar con información de otra estación de monitoreo del municipio y con el fin de tener con toda la información para obtener resultados más certeros se desarrolló un proceso de imputación simple por media, sustituyendo vacíos por la media maestra de los valores registrados en los demás días.

Además de la información concerniente al contaminante PM10, los datos de muertes por las enfermedades estudiadas también pueden sufrir cambios en su comportamiento al avanzar el tiempo, por lo tanto se realizaron gráficas y diagramas de tendencia temporal, con el fin de identificar esos cambios. Mediante el programa SPSS v26.0 y el software R se realizó el respectivo procedimiento para determinar la asociación entre las variables; además, se utilizó Modelos Aditivos Generalizados (GAM) como estrategia de análisis, mediante los cuales se relacionaron las variables predictoras y de respuesta, modelando factores como tendencias y estacionalidad.

8. Consideraciones Éticas

En el desarrollo de la presente investigación se tuvieron en cuenta aspectos relevantes como: la confidencialidad de la información extraída de las fuentes de información secundarias sobre las enfermedades estudiadas y el cumplimiento de los principios de beneficencia y no maleficencia. Principios establecidos en la Resolución 8430 de 1993, del ministerio de salud de Colombia y la declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial.

De igual forma, para garantizar el cumplimiento de los aspectos mencionados anteriormente se llevaron a cabo los siguientes puntos

- **Riesgo de la investigación:** se consideró como una investigación con riesgo bajo, debido a que se utilizó información secundaria, donde para su estudio y posterior análisis no acarreo ningún riesgo potencial ni contacto con personas externas, contrario a esto, la información resultante de la investigación puede contribuir a la creación de estrategias y acciones que contribuyan al mejoramiento de la calidad de vida de la población de Rionegro.
- **Confidencialidad:** si bien los datos recopilados no muestran nombres de individuos o documentos privados, la información recopilada no fue divulgada, además de la información suministrada por las instituciones participantes por parte de las personas que puedan conocer de ella en las diferentes etapas de la investigación. Además a ello la información solo fue manipulada por el individuo encargado del procesamiento.

9. Resultados

Los resultados se presentan de acuerdo a cada objetivo específico con el fin de mostrar el alcance del mismo.

9.1 Describir el comportamiento de las concentraciones diarias de PM10 medidas en el año 2016 en el municipio de Rionegro.

Tendencia Temporal de la Concentración de PM10

En esta investigación el monitoreo de la concentración de PM10 se realizó durante el periodo de junio de 2016 a diciembre del mismo año, lo que representa 201 días de datos de las concentraciones de este contaminante. Estos resultados corresponden a las mediciones realizadas por la estación UCO, ubicada en la sede de la Universidad Católica de Oriente. Se dio inicio a las mediciones un 14 de junio de 2016 culminando el periodo de medición el 31 de diciembre del mismo año. Durante este periodo de tiempo, el promedio de concentración de P.M.₁₀ fue de 22,73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, observándose valores entre 14,16 y 41,68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y en donde ninguno superó el nivel máximo permisible anual estipulado por la entidad reguladora (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tabla 5. Estadísticos descriptivos de los niveles diarios de concentración de P.M.₁₀ en el municipio de Rionegro, Antioquia durante el año 2016.

Nivel de concentración P.M. ₁₀		Estadístico
Media		22,73
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior Límite superior	22,08 23,37
Media recortada al 5%		22,41
Mediana		22,11
Varianza		21,49
Desviación típica		4,64
Mínimo		14,16
Máximo		41,68
Rango		27,52
Amplitud intercuartil		5,45
Asimetría		1,10
Curtosis		1,77

En general, el comportamiento del material particulado muestra fluctuaciones entre algunas semanas (Figura 3) teniendo un aumento en los periodos laborales y académicos (meses como agosto y noviembre) en donde se puede apreciar el aumento de las actividades productivas y el transporte vehicular, quedando en equilibrio en los periodos de vacaciones.

A lo largo de todas las semanas se presentó un comportamiento muy fluctuante del contaminante en mención, presentando sus picos más altos en las semanas 49, 35 y 27, las cuales corresponden al inicio de los meses de julio, septiembre y diciembre.

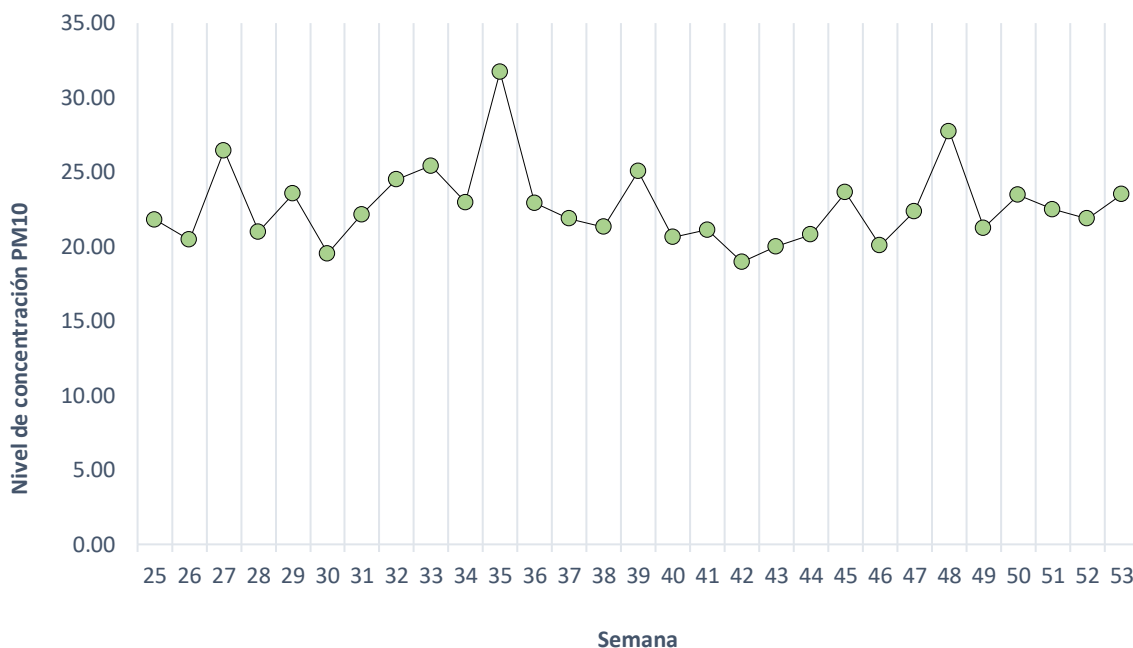


Figura 3. Serie de tiempo de la concentración semanal de PM10 en la estación UCO

Tabla 6. Estadísticos descriptivos de los niveles diarios de concentración de P.M.₁₀ según variables temporales en el municipio de Rionegro, Antioquia durante el año 2016.

Variables	Categorías	N	Promedio	Desviación típica	Mediana	Mínimo	Máximo
Día de la semana	Lunes	28	22,15	6,17	21,12	14,16	41,68
	Martes	29	23,57	4,31	22,11	18,00	37,44
	Miércoles	29	23,21	4,71	22,11	15,82	35,22
	Jueves	29	22,26	4,30	22,11	15,38	33,95
	Viernes	29	23,34	4,26	22,11	17,54	36,17
	Sábado	29	23,24	5,44	22,11	14,75	35,22

	Domingo	28	21,26	2,38	22,11	16,38	27,42
Festivo	No	167	23,12	4,85	22,11	14,16	41,68
	Si	34	20,78	2,65	22,11	15,38	27,42
Mes	Junio	17	22,78	4,20	22,11	16,20	32,46
	Julio	31	22,23	4,57	22,11	15,05	35,22
	Agosto	31	25,62	5,51	24,13	18,00	37,44
	Septiembre	30	22,11	3,42	22,11	15,82	31,56
	Octubre	31	20,46	3,27	21,75	14,16	27,56
	Noviembre	30	23,30	5,24	22,11	16,53	41,68
	Diciembre	31	22,62	4,38	21,33	17,18	36,17

Con respecto a la distribución de las concentraciones del contaminante según el mes de estudio, se observó que el mes que presentó un mayor promedio fue agosto con un 25,62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y el que presentó el menor fue octubre con un 20,46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De igual forma, resaltan los valores atípicos y extremos presentados en los diferentes meses, pero destaca aún más lo ocurrido en noviembre, en donde se observó un día con un valor de 41,68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el más alto de todo el periodo de estudio.

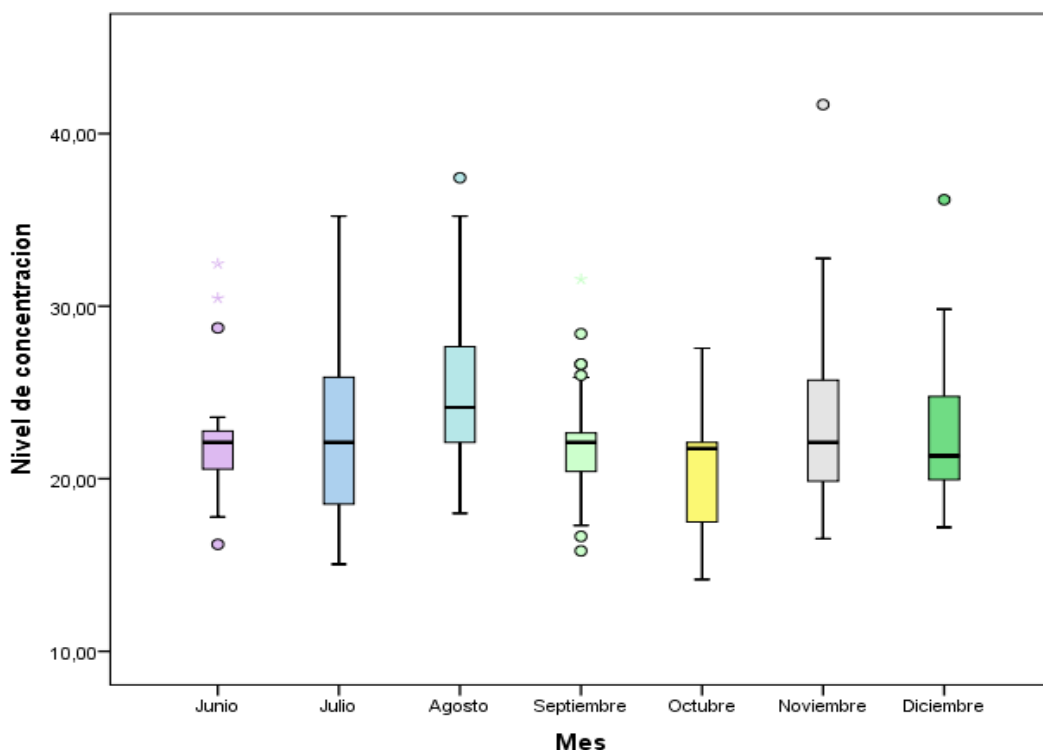


Figura 4. Niveles de concentración del contaminante P.M.₁₀ según el mes de medición en el municipio de Rionegro, Antioquia durante el año 2016.

En cuanto a la concentración de PM10 por día de la semana, en la figura 5 se puede observar que el promedio más alto se presentó los días martes, lo cual puede responder al inicio de la semana laboral teniendo en cuenta la cantidad de días festivos que se presentaron en el periodo de estudio (34). A este, lo siguieron los días viernes y sábado con promedios muy similares entre sí, los cuales pueden reflejar la actividad turística y social que se presenta en el municipio.

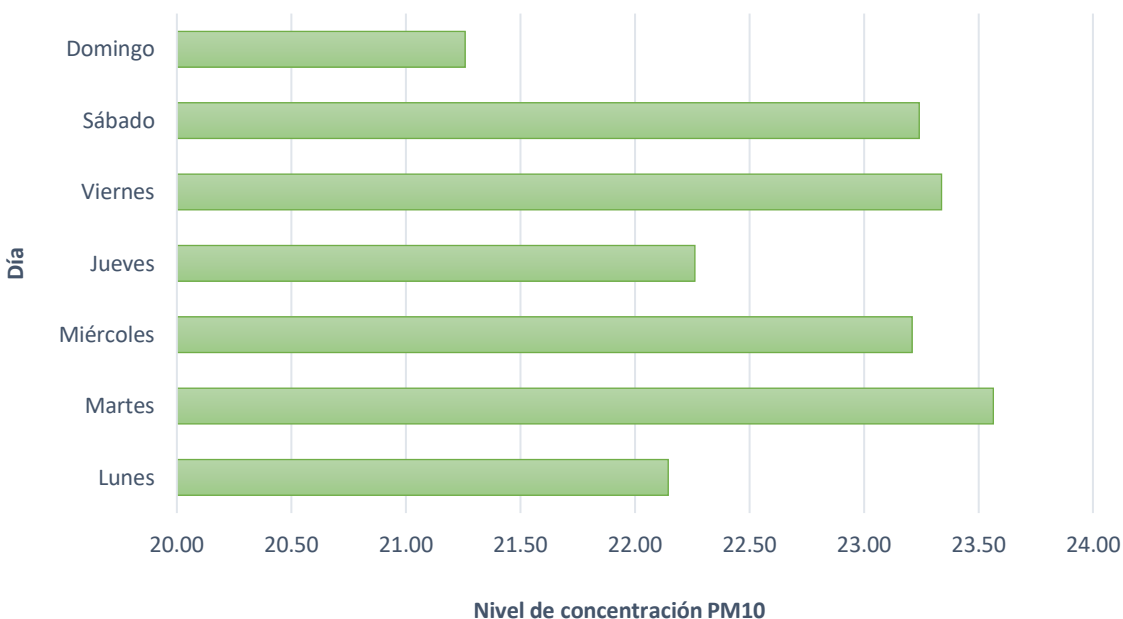


Figura 5. Concentración de PM10 en la estación de monitoreo según el día de la semana.

Al analizar la totalidad de los días de medición, según semana y mes, se logra observar que muchos de los días que presentaron una mayor concentración del contaminante corresponden a festividades o días previos o posteriores a ellas, en los cuales aumenta el flujo vehicular tanto en el municipio como en el país en general.

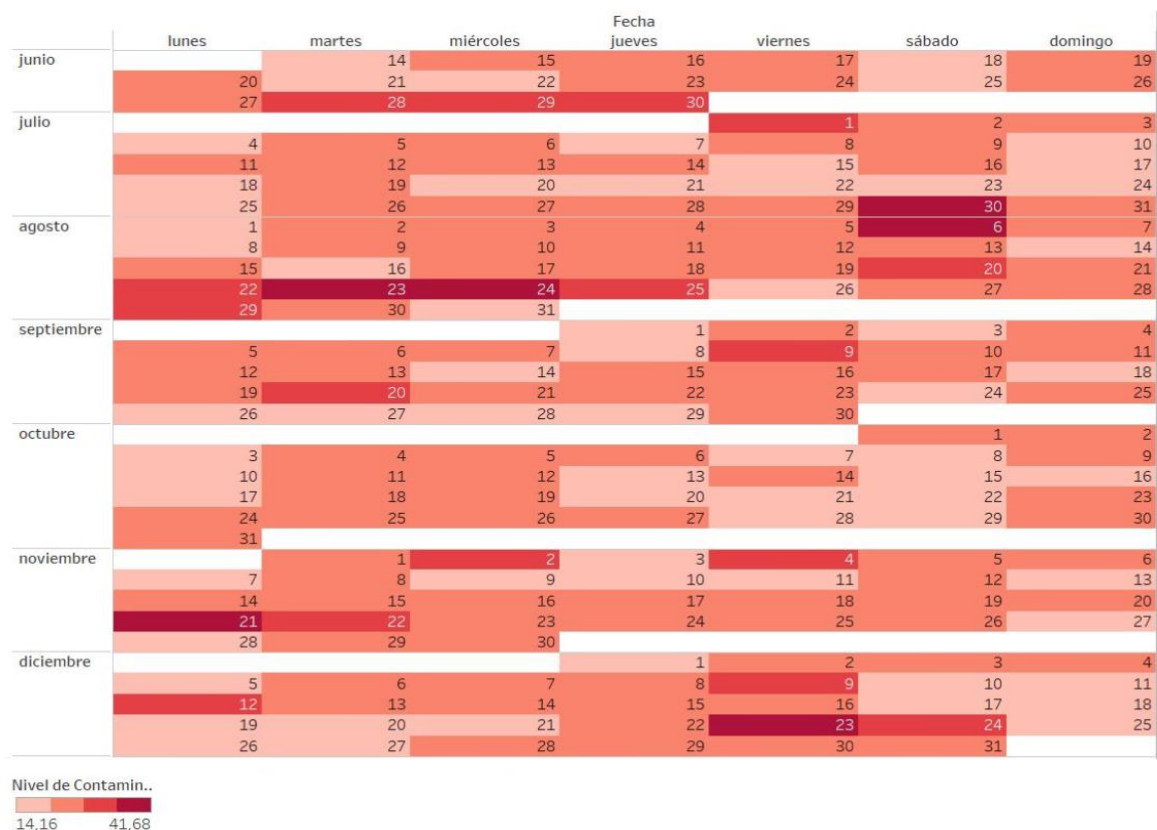


Figura 6. Calendario de los niveles diarios de concentración de P.M.₁₀ en el municipio de Rionegro, Antioquia durante el año 2016.

Variables meteorológicas

En relación a las variables meteorológicas, se evidenció una temperatura promedio de 17,4°C durante el segundo semestre del 2016. Resalta el comportamiento de la precipitación en el municipio, en donde se registró lluvia en 147 de los 201 días de observación, alcanzando valores de hasta 52 mm, pero con una media cercana a los 6 mm.

Tabla 7. Estadísticas descriptivas de variables meteorológicas

Variables	Estadísticos							
	Min	Máx	Media	DE	P5	P25	P50	P75
Temperatura	15,10	19,40	17,49	0,87	15,81	16,90	17,60	18,10
Humedad relativa	59,00	96,00	77,16	6,63	66,00	73,00	77,00	82,00
Brillo solar	0,00	11,20	5,88	2,88	0,41	3,95	6,30	8,30

Precipitación	0,00	52,80	5,91	9,09	0,00	0,00	1,50	8,55
---------------	------	-------	------	------	------	------	------	------

Las series de variables meteorológicas como la temperatura y el brillo solar reflejan disminuciones en sus tendencias. Además, se puede observar que la humedad relativa evidencia un comportamiento ascendente, con mínimas variaciones. La variable precipitación, por su parte, presenta un comportamiento inestable, con picos, evidenciando mayor cantidad de precipitación las semanas 12 y 17, respectivamente.

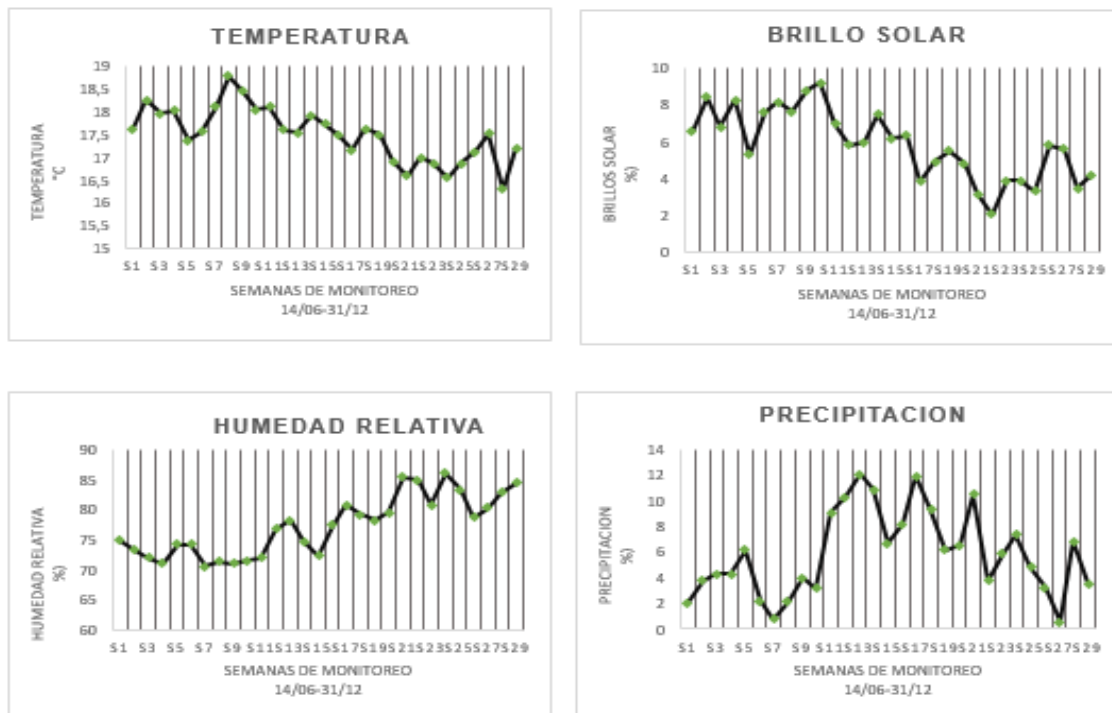


Figura 7. Tendencia temporal de las variables meteorológicas

9.2. Cuantificar los casos incidentes y las defunciones por causas respiratorias ocurridas en el municipio de Rionegro, año 2016

Con base en la información extraída del SISPRO se realizan las siguientes gráficas y tablas con sus respectivas interpretaciones, representando la cantidad de casos de enfermedad y muerte provocadas por las enfermedades respiratorias agudas en el municipio de Rionegro.

Morbilidad

Se presentan los eventos por cada subcategoría del CIE-10 en donde se ve reflejado que la mayoría de eventos corresponden a la subcategoría de J09-J18 Influenza (gripe) y neumonía (35,5%) con 39 casos registrados, seguida

por las enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores, quienes en conjunto, representan casi dos de cada tres casos registrados en el municipio (64,6%). Por otro lado, la subcategoría que menos presentó eventos fue J30-J39 Infecciones agudas de las vías respiratorias superiores con solo 1 evento registrado.

Tabla 8. Distribución de los casos de enfermedad registrados por enfermedades respiratorias en el municipio de Rionegro durante el año 2016.

Subgrupo CIE-10	n	%	% acumulad o
J00-J06 infecciones agudas de las vías respiratorias superiores	13	11,8	11,8
J09-J18 influenza (gripe) y neumonía	39	35,5	47,3
J20-J22 enfermedades respiratorias inferiores agudas	25	22,7	70
J30-J39 otras infecciones agudas de las vías respiratorias superiores	1	0,9	70,9
J40-J47 enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores	32	29,1	100
Total	110	100	

Al llevar a cabo el análisis según el sexo de la persona enferma, se encontró que las mujeres (69%) se vieron mucho más afectadas por infecciones agudas de las vías respiratorias superiores que los hombres (31%), sin embargo, los hombres presentaron una mayor afectación con respecto a la influenza (gripe) y neumonía y a las enfermedades respiratorias inferiores agudas.

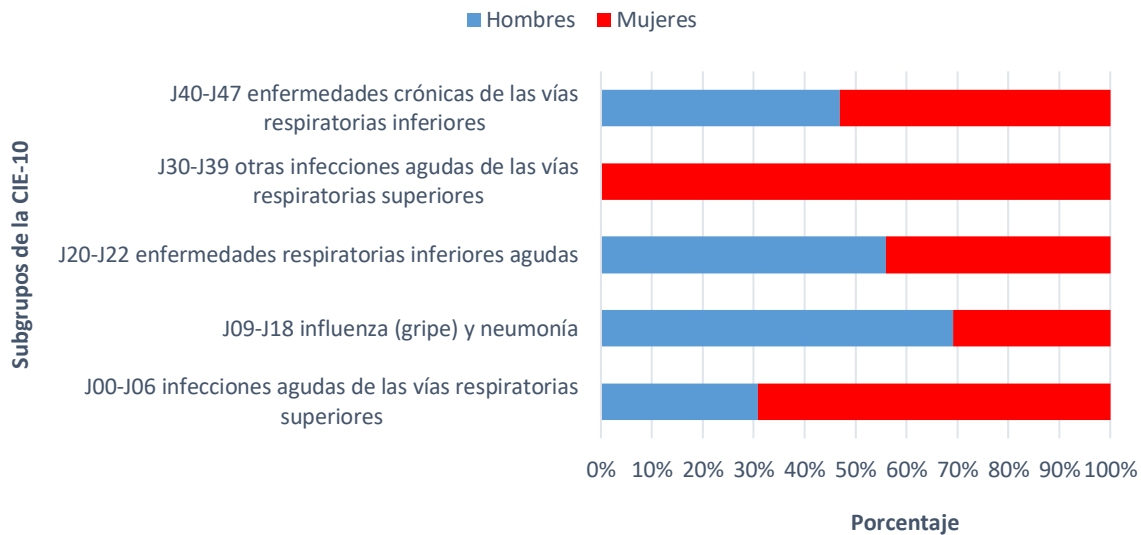


Figura 8. Distribución porcentual de los casos por enfermedades respiratorias según sexo en el municipio de Rionegro durante el año 2016.

La figura 9 representa la cantidad total de casos relacionados con las enfermedades respiratorias clasificadas en la CIE-10, mostrando a los días jueves y viernes como los de mayores cifras. Con respecto al día con menos cantidad de eventos adversos, se identifica que los días sábados y domingos poseen cifras inferiores en comparación con el resto de días de la semana.

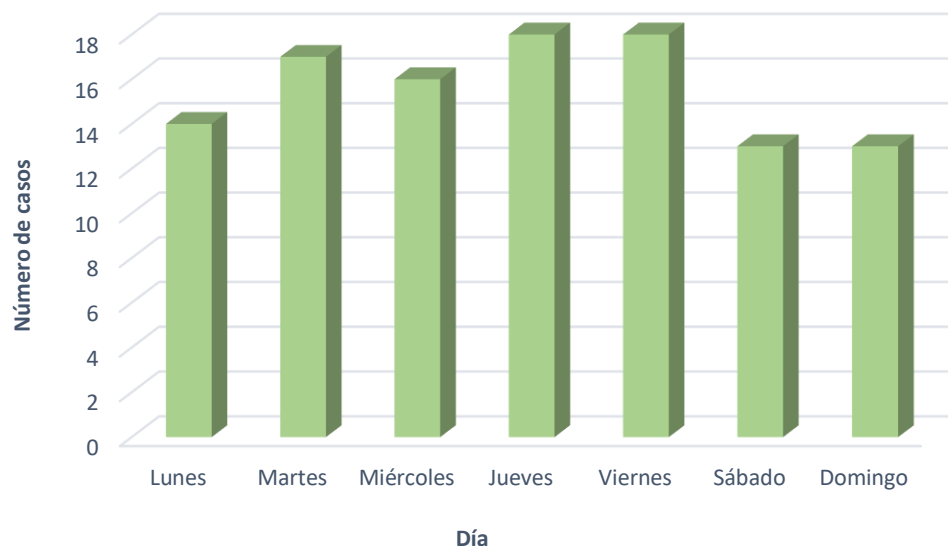


Figura 9. Cantidad de casos reportados según los días de la semana en el municipio de Rionegro durante el año 2016.

La tendencia temporal referente a los eventos investigados presenta un mayor número de casos en enfermedades crónicas respiratorias de las vías respiratorias inferiores, especialmente en el mes de noviembre, evidenciando un incremento considerable en comparación con los otros meses y las otras enfermedades también representadas en la siguiente figura.

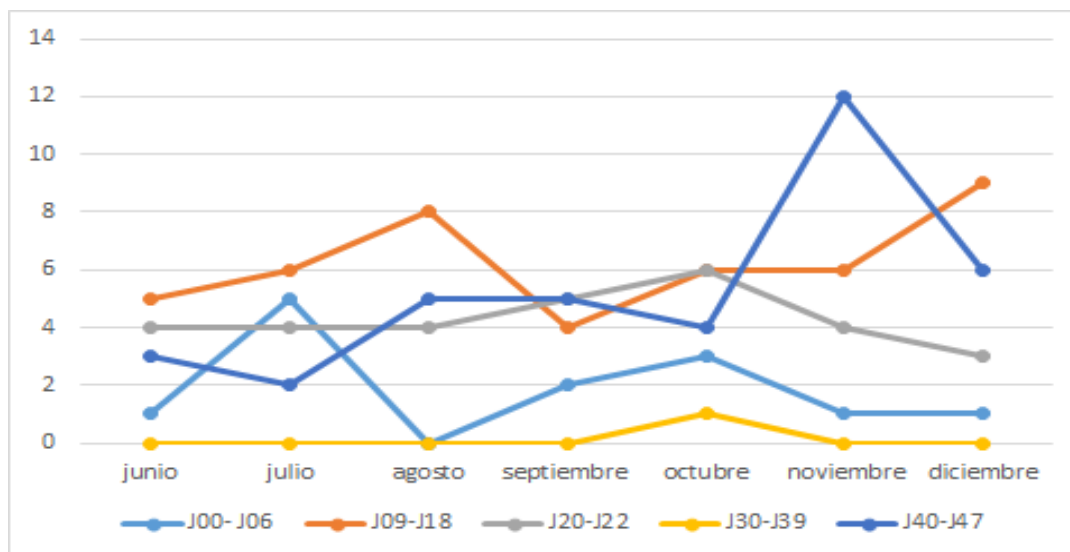


Figura 10. Tendencia temporal del conteo mensual de eventos respiratorios agudos, según la clasificación CIE-10, en Rionegro

Mortalidad

Tabla 9. Distribución de los casos de defunciones registradas por enfermedades respiratorias en el municipio de Rionegro durante el año 2016.

En cuanto al comportamiento de los casos de las defunciones presentadas en el municipio asociadas a enfermedades respiratorias, se observó que 3 de ellas estuvieron relacionadas con el subgrupo de influenza y neumonía, y las dos restantes correspondieron a enfermedades respiratorias inferiores agudas.

Subgrupo CIE-10	n	%	% acumulado
J09-J18 influenza (gripe) y neumonía	3	60	60
J20-J22 enfermedades respiratorias inferiores agudas	2	40	100
Total	5	100	100

Al llevar a cabo el análisis según el sexo de la persona fallecida, se observó que todas las defunciones asociadas a influenza y neumonía correspondieron

a mujeres, contrario a presentado en la morbilidad, en donde los hombres fueron quienes se vieron más afectados por estas patologías. En cuanto a las defunciones relacionadas a J20-J22 enfermedades respiratorias inferiores agudas cada sexo aportó un deceso.

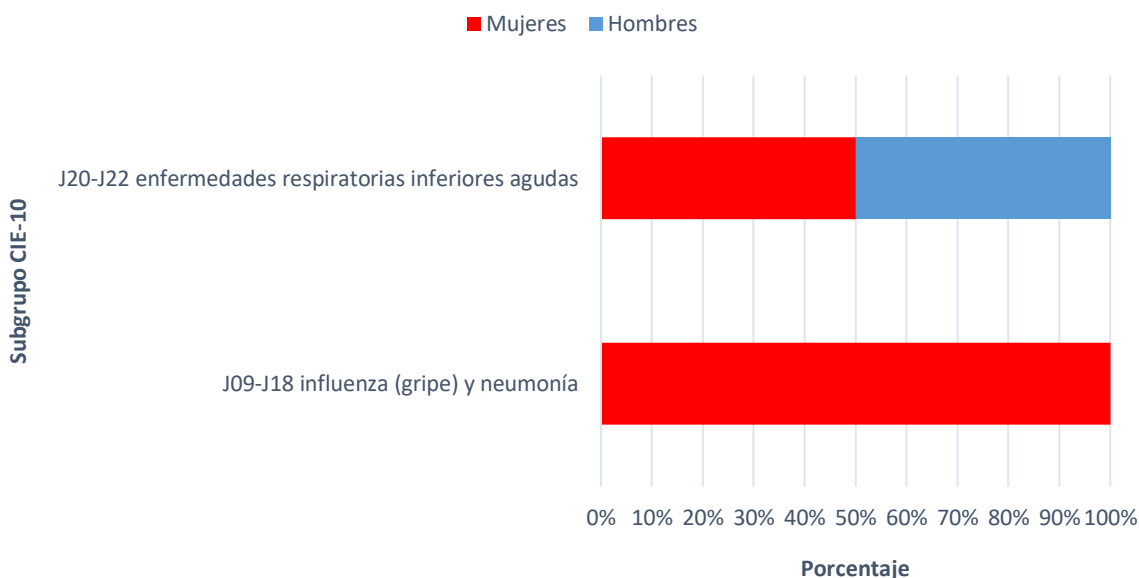


Figura 11. Distribución porcentual de los casos por enfermedades respiratorias según sexo en el municipio de Rionegro durante el año 2016.

9.3. Establecer el comportamiento de los casos incidentes y las defunciones en relación con las concentraciones de PM10 del año 2016 en el municipio de Rionegro

A continuación, se presentan los índices que se obtienen al momento de la construcción de los modelos GAM, con sus respectivas covariables/factores, y su variable desenlace.

Tabla 10. Índices producto de los modelos GAM para las covariables/factores ajustados el contaminante

Desenlace	Covariables	Vs	Contaminante	Índice/Resultado
Número de casos de enfermedad (Morbilidad)	<ul style="list-style-type: none"> Precipitación Brillo solar Temperatura Humedad relativa 		Concentración de material particulado PM10	% de cambio del número de enfermos por cada incremento de PM10
Número de defunciones	<ul style="list-style-type: none"> Precipitación Brillo solar 		Concentración de material	% de cambio del número de muertos

(Mortalidad)	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura • Humedad relativa 		particulado PM10	por incremento PM10	cada de
--------------	---	--	---------------------	---------------------------	------------

En las tablas 11 y 12 se presenta un resumen de las medidas de significación y ajuste obtenidas en la construcción de cada uno de los modelos GAM realizados para buscar establecer la relación entre los niveles de contaminación por PM10 con respecto a la cantidad de casos de enfermedad y muerte por enfermedades del sistema respiratorio, y ajustados por covariables meteorológicas y temporales.

Como se pudo observar, ni los valores P (todos superiores a 0,05) ni el R cuadrado ajustado (la mayoría por debajo del 1% e incluso negativos) sugieren que dichos modelos construidos puedan dar explicación a la relación entre los niveles de concentración de PM10 y los casos de enfermedad y muerte reportados en Rionegro durante los meses de estudio, lo cual podría indicar que, con los datos disponibles (110 casos de morbilidad y 5 defunciones), no es posible confirmar dicha asociación o, que los niveles de PM10 en el municipio (Promedio = 22,73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) no son lo suficientemente significativos para incidir en la morbimortalidad de los habitantes según los subgrupos de la CIE-10 seleccionados.

Para la construcción de los modelos, inicialmente se realizaron análisis entre el contaminante PM10 con respecto a cada una de las covariables disponibles, buscando observar como influían individualmente dichas variables en el comportamiento del contaminante, para lo cual no se encontraron resultados estadísticamente significativos. Posteriormente, se construyeron modelos que representaran la relación del contaminante con respecto a las cuatro covariables en conjunto, buscando identificar si era probable que la relación entre dichas variables manifestara un cambio significativo en los niveles de concentración del PM10. Al construir dichos modelos se observaba el valor P de cada una de las covariables y se identificaba la que tuviera un mayor valor, con la intención de retirarla del modelo y correr uno nuevo con las tres variables restantes que presentaron un nivel de significancia menor. Este paso se realizó una vez más hasta contar con un modelo con las dos covariables que presentaron un menor nivel de significancia con respecto a su relación con el contaminante.

Finalmente, se construyeron modelos en los que se incluyeran todas las variables, tanto las meteorológicas como las temporales, nuevamente buscando identificar si la relación entre todas ellas en conjunto influía en el comportamiento del contaminante. Así mismo, se realizó el paso de ir sacando del modelo aquellas variables que presentaran valores P mayores, hasta llegar a un modelo con el mayor grado de significancia posible, sin embargo, ninguno

de ellos presentó un nivel de significancia menor a 0,05, lo cual no permite asumir dichas relaciones como significativas.

Morbilidad

Tabla 11. Medidas de significancia y ajuste obtenidas en la construcción de los modelos GAM para los casos de enfermedad.

	Modelo	Valor P	R² ajustado	Deviance	
PM10	Vs Temperatura	0,518	-0,00555	0,29%	
PM10	Vs Humedad relativa	0,505	-0,00531	0,31%	
PM10	Vs Brillo solar	0,495	-0,00497	0,32%	
PM10	Vs Precipitación	0,528	-0,28272	0,27%	
PM10	Vs	Temperatura	0,876	-0,016	0,56%
		Humedad relativa	0,975		
		Brillo solar	0,771		
		Precipitación	0,597		
PM10	Vs	Temperatura	0,838	-0,0113	0,56%
		Brillo solar	0,728		
		Precipitación	0,587		
PM10	Vs	Brillo solar	0,528	-0,00672	0,53%
		Precipitación	0,568		
PM10	Vs	Temperatura	0,871	-0,0133	1,95%
		Humedad relativa	0,756		
		Brillo solar	0,727		
		Precipitación	0,579		
		Festivo	0,352		
		Mes	0,412		
		Día	0,895		
PM10	Vs	Temperatura	0,841	-0,00793	2%
		Humedad relativa	0,828		
		Brillo solar	0,661		
		Precipitación	0,582		
		Festivo	0,264		
		Mes	0,399		
PM10	Vs	Temperatura	0,871	-0,00832	1,53%
		Humedad relativa	0,92		
		Brillo solar	0,74		
		Precipitación	0,535		

Festivo 0,243

Mortalidad

Tabla 12. Medidas de significancia y ajuste obtenidas en la construcción de los modelos GAM para los casos de defunción

	Modelo	Valor P	R² ajustado	Deviance
PM10	Vs Temperatura	0,328	-0,00234	3,35%
PM10	Vs Humedad relativa	0,351	0,0821	13,10%
PM10	Vs Brillo solar	0,365	0,00713	14%
PM10	Vs Precipitación	0,691	-0,00689	1,05%
PM10*	Temperatura	1	1	100%
	Humedad relativa	1		
	Brillo solar	0,99		
	Precipitación	0,995		
PM10	Vs Brillo solar	0,328	0,00173	13,90%
	Precipitación	0,992		
PM10	Temperatura	1	1	99,90%
	Humedad relativa	1		
	Brillo solar	0,878		
	Precipitación	0,961		
	Festivo	0,979		
	Mes	0,929		
Día	0,801			
PM10	Vs Brillo solar	0,3	-0,0104	18,40%
	Precipitación	0,964		
	Día	0,58		
	Mes	0,322		
PM10	Vs Brillo solar	0,28	-0,0036	17,80%
	Precipitación	0,993		
	Mes	0,290		

* Fitting terminated with step failure - check results carefully

10. Discusión

La investigación contó con 201 días de monitoreo, dando inicio el 14 de junio del 2016 y finalizando el 31 de diciembre del mismo año; de la totalidad de días solo se contó con el registro de 155, lo que representó 22,8% de los datos faltantes. Se realizó una imputación por la media con el fin reemplazar los datos faltantes y así completar la base de datos. Ninguno de los registros tomados superó los estándares dictados por la normatividad colombiana, Los cual establece que el límite de medición diario es de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo el día 21 de noviembre del 2016 el de mayor registro (41,68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

En las condiciones meteorológicas se evidenció que entre la semana 10 y 16 hubo un aumento significativo de la precipitación, donde llegó a tener un máximo de 52,8 mm. En el caso de la temperatura, se encontró que la temperatura mínima fue registrada en el mes de diciembre (15,10 grados centígrados), siendo esta cercana al promedio general.

Para el caso de las enfermedades respiratorias se encontró en el estudio que el mayor número de morbilidad estaban relacionados con la enfermedad de gripe y neumonía J09 – J18. Cada una de las subcategorías del CIE 10 de enfermedades respiratorias tuvieron más eventos en meses diferentes, para el caso de influenza, gripe y neumonía se presentaron más eventos para el mes de agosto, a diferencia de las enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores, donde se presentaron más eventos en el mes de noviembre.

Un estudio similar es el realizado en la ciudad de Cali en el año 2010-2011, donde la modelación GAM dio asociación entre el contaminante atmosférico y las enfermedades respiratorias, esto debido al gran número de datos de morbilidad con los que contaba, ya que el universo poblacional del estudio fue de 30.978 consultas realizadas en el tiempo de investigación, y a la vez las condiciones atmosféricas registraban rangos superiores, evidenciándose en una media promedio de 26,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y un reporte máximo de 70,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. (30) También se destaca el estudio realizado en la ciudad de Bogotá, donde el número de consultas por enfermedades respiratorias fue de 40.674 y un promedio de contaminante PM10 de 67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. (35)

Al desarrollar la modelación GAM no se encontró asociación significativa entre los eventos de enfermedades respiratorias y el contaminante PM10, debido a que los datos disponibles para el periodo de estudio (110 de morbilidad y 5 de defunciones) arrojaron un P superior a 0,05 y un R cuadrado inferior al 1%. Esto va en concordancia con otros estudios realizados en la región, como lo es el caso del estudio de "Contaminación atmosférica y sus efectos en la salud de los habitantes del Valle de Aburrá" (34), en donde en el municipio de

Envigado no se encontró asociación entre el contaminante PM10 y enfermedades respiratorias, esto debido a que los datos no fueron los suficientes para ajustar el modelo GAM, ya que en el caso de fuente de información del contaminante PM10 solo se tenían registros del 14 de junio hasta el 31 de diciembre del año 2016, y faltaban alrededor del 22% de los datos. En el caso de la base de morbi-mortalidad se debe a que no se presentaron muchos casos en el tiempo de la investigación. Casos similares se identificaron en los municipios de Barbosa, Bello, Copacabana, La Estrella y Sabaneta, donde no se encontró asociación, la diferencia es que estos no presentaron asociación entre el contaminante PM2,5 y las enfermedades respiratorias. (34)

Otros estudios realizados a nivel nacional donde no se encontró asociación entre el contaminante y la relación con las enfermedades respiratorias fueron realizados en la ciudad de Santa Marta en el periodo 2008-2009, en el cual no hubo asociación entre el contaminante PM10 y las enfermedades respiratorias (36). En la ciudad de Bucaramanga hay un estudio que buscaba determinar la prevalencia de síntomas respiratorios indicativos de asma en la población preescolar y compararla entre zonas con diferentes niveles de contaminación atmosférica, en el cual tampoco se encuentra asociación significativa entre la contaminación extra domiciliaria y la presencia de síntomas respiratorios (37).

No solo estos estudios demuestran la importancia del número de datos para la realización de los modelos GAM, también hay investigaciones desarrolladas en ciudades como Guadalajara, Ciudad de México y la Habana, catalogadas como ciudades principales, donde se garantiza mayor cantidad de datos, diferenciándose de ciudades intermedias como es el caso de Rionegro, en donde la información disponible fue de menor cantidad en concentraciones y número de casos de enfermedades y muertes por enfermedades respiratorias, según la clasificación CIE-10.

Los resultados de esta investigación no evidenciaron efectos negativos sobre la salud respiratoria en la población, ya que no se determinó una asociación significativa por la cantidad de información analizada, esto debido a que el municipio no cuenta con una estación de monitoreo constante, si no que los datos fueron obtenidos por campañas realizadas en el municipio, además no se presentaron muchos casos de morbi-mortalidad, debido a que en el periodo evaluado solo se tiene registro de 110 eventos por enfermedades respiratorias y 5 defunciones.

Es recomendable mantener un monitoreo a largo plazo para evaluar los niveles de la contaminación del aire, así se controla y supervisa los contaminantes en el municipio, además sería información base para generar estrategias de

educar e informar a la población respecto a la calidad del aire y las consecuencias sobre la salud.

Se recomienda involucrar a las comunidades en las decisiones que tienen que ver con ambiente y salud, Así mismo, ampliar el número de estaciones de monitoreo para evaluar las variaciones del contaminante en diferentes partes del municipio y realizar comparaciones que ayuden a la generación de ideas en pro del bienestar de la población. Igualmente, se puede analizar la influencia de condiciones socioeconómicas en la población , donde se pueda diseñar e implementar un sistema de vigilancia epidemiológica donde se estimen estrategias de intervención que tengan impacto en la calidad del aire del municipio.

Conclusiones

Se analizó el comportamiento del PM10 en el periodo de estudio, arrojando diversos movimientos durante los meses investigados. Se encontró que el mes donde hubo mayor concentración del contaminante fue agosto, además se destaca que en el mes de noviembre se presentó el día (hábil) con el máximo valor de PM10 de la investigación. A nivel de semana, el promedio más alto se presentó el día martes. Dado que en las fechas de la investigación hay gran cantidad de lunes festivos, en el momento del análisis según semana y mes se presenta una mayor concentración del contaminante en los días previos o posteriores a festividades. Se concluye que de acuerdo a los resultados obtenidos no existe relación entre el contaminante y las enfermedades de tipo respiratorio, dado que no existen los suficientes casos e información relacionada para determinar dicha asociación, pero se evidencio que los aumentos en las cargas contaminantes se dan mayormente en periodos laborales y académicos, días de semanas catalogados como hábiles, a diferencia de periodos de vacaciones, en los que se nota un equilibrio en los datos con mínimas variaciones, evidenciando la influencia del tráfico vehicular especialmente en las épocas de estudio y laborales.

Con base en los resultados obtenidos de las bases de datos extraídas del sistema de información sobre calidad del aire (SISAIRE) se puede afirmar que en general en el sector de influencia de la estación de monitoreo de la universidad católica del oriente (UCO) los niveles de contaminación de PM10 no excedieron los límites máximos diarios estipulados por la normatividad colombiana legal vigente. Además, el promedio de PM10 en los seis meses de estudio fue de 22,73, menos de la mitad del nivel máximo permitido según la norma, lo cual indica que a nivel general las cargas contaminantes no fueron tan elevadas, siendo consecuente con el hecho de no encontrar una asociación significativa con respecto a los casos de enfermedades y muertes reportadas.

En relación a las variables meteorológicas se evidenció que las variaciones de temperaturas diarias fueron de pocos grados centígrados, manteniendo un clima templado con un promedio de 17,4 °C; Además, se resaltó el comportamiento de la precipitación, ya que hubo lluvia en 147 de los 201 días de la investigación, por lo tanto haciendo más propensa y susceptible a la población de estudio a sufrir de problemas respiratorios por causa de precipitación constante y temperaturas relativamente bajas.

Según el análisis de morbilidad se encontró que las mujeres se vieron mucho más afectadas con 69% en comparación de los hombres con un 31%, de acuerdo a los eventos clasificados en el CIE-10. Además, se muestra que la mayor cantidad de casos por morbilidad se presentaron en días hábiles de

semana, donde jueves y viernes son los de mayores cifras, y que se presenta mayor número de eventos en enfermedades crónicas respiratorias inferiores, especialmente en el mes de noviembre, Esto en comparación con los otros meses y las otras enfermedades incluidas en el CIE-10.

Por otro lado, el comportamiento de los casos de las defunciones registradas por enfermedades respiratorias en el municipio de Rionegro es de 5 casos afectando en mayor medida a las mujeres; tres de estos son del subgrupo de influenza y neumonía y las otras dos correspondieron a enfermedades respiratorias inferiores agudas. La poca cantidad de muertes relacionadas con las enfermedades respiratorias identificadas en el periodo de desarrollo de la investigación imposibilitaron realizar la respectiva asociación.

Con un mayor número de meses de monitoreo, en donde se registre una mayor cantidad de muertes y enfermedades, y se pueda contar con una mayor cantidad de datos del comportamiento de PM10 podría ser posible identificar una asociación significativa entre la contaminación por PM10 y los efectos en salud de los habitantes de Rionegro.

También se concluye que el mayor número de estudios referentes a la calidad del aire y los efectos en la salud se encuentran desarrollados en ciudades catalogadas como principales, debido a que estas cuentan con mayor densidad poblacional, industrialización y flujo vehicular, generando mayores números en concentraciones de contaminación y cifras de morbilidad y mortalidad más significativas referentes a las enfermedades respiratorias estudiadas, diferenciándose de ciudades intermedias como Rionegro, en las cuales se posee menor cantidad de información para la realización de los respectivos análisis.

Referencias Bibliografias

1. Ballester F. Contaminacion atmosférica, cambio climático y salud. Rev Esp Salud Pública [Internet]. Marzo 2005. 79(2).159.175. [Consultado el 2019 mar 13]. Disponible en: <http://scielo.isciii.es/pdf/resp/v79n2/colaboracion3.pdf>
2. Atiolio de la Orden E. Contaminación Área Ecológica Editorial Científica Universitaria - Universidad Nacional de Catamarca [Internet]. ISSN: 1852-3013. [Consultado el 2019 mar 13]
3. Arciniegas Suarez C, Diagnostico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10. Rev Luna Azul [Internet]. Manizales, 2011-08-12 | ISSN 1909-2474 No. 34.195:213. [Consultado el 2019 mar 15]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n34/n34a12.pdf>.
4. Macedo M, Mateos S, Infecciones respiratorias [Internet]. pag 137. [Consultado el 2019 abr 04]. Disponible en: <http://www.higiene.edu.uy/cefa/2008/Infeccionesrespiratorias.pdf>.
5. PM10. Resgistro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes. Gobierno de España. Ministerio para la Transicion Ecologica y Reto Demografico. [Internet]. [Consultado el 2019 abr 8]. Disponible en: <http://www.prtr-es.es/Particulas-PM10,15673,11,2007.html#:~:text=Las%20PM10%20se%20pueden,milésima%20parte%20de%201%20milímetro>).
6. Organización Mundial de la Salud. Informe de Estado de la salud en el mundo 2002 . [Internet]. [Consultado el 2019 abr 16]. Disponible en: https://www.who.int/whr/2002/en/whr02_es.pdf?ua=1
7. GBD 2015 Risk Factors Collaborators. Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease. Lancet 2016; 388: 1659–724. [Consultado el 2019 abr 28].
8. Organización Mundial de la Salud. Enfermedades Cardiovasculares. [Internet]. [Consultado el 2019 may 15]. Disponible en: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds))
9. OYARZÚN M. Contaminación aérea y sus efectos en la salud. Rev Chil Enf Respir [Internet]. 2010. 26. 16-25. [Consultado el 2019 may 20]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rcher/v26n1/art04.pdf>
10. Ramirez Hernandez O. Identificación de problemáticas ambientales en colombia a partir de la percepción social de estudiantes universitarios localizados en diferentes zonas del país. [Internet].

- Grupo de Estudios Ambientales Aplicados - GEAA, Universidad Nacional Abierta y a Distancia. [Consultado el 2019 may 20]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v31n3/v31n3a9.pdf>
11. Organización mundial de la Salud. Departamento de Salud Pública, Medio Ambiente y Determinantes Sociales de la Salud. Contaminación Atmosférica. [Internet]. [Consultado el 2019 may 27]. Disponible en: https://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/es/
 12. Gavidia Tania, Pronczuk Jenny, Sly Peter D. Impactos ambientales sobre la salud respiratoria de los niños. Carga global de las enfermedades respiratorias pediátricas ligada al ambiente. Chil Enf Respir [Internet]2009 [consultado 2019 jun 07] Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rcher/v25n2/art06.pdf>.
 13. Organización Panamericana de la salud.[Internet] Washington D.C [Consultado 2019 jun 23] Disponible en: <https://hiss.paho.org/pahosys/grp.php>.
 14. Antioquia. Rionegro. Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019 "Rionegro, Tarea de Todos". [consultado 2019 jun 30].
 15. Romero Placeres M,1 Diego Olite F, Álvarez Toste M. La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud Rev Cubana Hig Epidemiol [Internet] 2006; 44(2) [consultado 2019 jul 14] Disponible en: (<http://www.redalyc.org/pdf/2232/223214848008.pdf>)
 16. Connelly M. Problemas de contaminación y respuesta del Estado chino y organizaciones sociales 28 Problemas de contaminación y respuesta del Estado chino y organizaciones sociales Pollution Problems and Chinese State and social organizations response. 2014;3(6):2007-6576.
 17. Yassi A, Kjellstrom T, de Kok T, Guidotti. Salud Ambiental Básica (versión al español realizada en el INHEM). México DF. PNUMA. 2002.
 18. Aranjuez E, Ordoñez J, Serrano J, Aragonés N, Fernández R, Galán I. Contaminantes atmosféricos y su vigilancia. [Internet] Rev Esp Salud Pública. 1999. 73(2). 123-131. [consultado 2019 ago 15]. Disponible en: http://scielo.isciii.es/pdf/resp/v73n2/contam_atmos.pdf
 19. Bogotá. Secretaria Distrital de Ambiente. Elementos técnicos de plan decenal de descontaminación de Bogotá. 2009. [Internet]. [consultado 2019 ago 28]. Disponible en: <https://uniandes.edu.co/sites/default/files/asset/document/parte-1-caracterizacion-PM.pdf>
 20. Araujo JA. ¿Las Partículas Ultrafinas Son Un Factor De Riesgo De Enfermedades Cardiovasculares? Rev Esp Cardiol. 2011; 64(8):642-5

21. YOLANDA MAEYDDMM. Contaminación atmosférica. Contam Atmos. 2004; 1-10.
22. Foro de las Sociedades Respiratorias Internacionales. El impacto global de la Enfermedad Respiratoria – Segunda edición. México, Asociación Latinoamericana de Tórax, 2017. [Internet]. [Consultado 2019 sep 7]. Disponible en: https://www.who.int/gard/publications/The_Global_Impact_of_Respiratory_Disease_ES.pdf
23. Saldias Peñafiel F, Gassman J, Canelo López A, Díaz Patiño O. Características clínicas de la neumonía adquirida en la comunidad del adulto inmunocompetente hospitalizado según el agente causal. [Internet]. Rev Med Chile 2018; 146: 1371-1383 [Consultado 2019 sep 15]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rmc/v146n12/0717-6163-rmc-146-12-1371.pdf>
24. Calidad del aire y salud. [Internet]. Gobierno de España [consultado 2019 oct 24]. Disponible en: <http://archivo.ecodes.org/salud-calidad-aire/Impactos-sobre-la-salud-de-la-contaminacion-del-aire-Grupos-de-poblacion-mas-vulnerables>
25. Universidad Nacional de Mexico. La contaminación del aire y los problemas respiratorios. [Internet]. Rev. Fac. Med. (Méx). Vol 58 N 5 – 2015. 44-47. [consultado 2019 oct 29]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/facmed/v58n5/2448-4865-facmed-58-05-00044.pdf>
26. Gavira C, Muñoz J, Gonzales G. Contaminación del aire y vulnerabilidad de individuos expuestos: un caso de estudio para el centro de Medellín. Rev. Fac. Nac. Salud Pública 2012. Vol 30 Nro 3. 318-325.
27. Organización Mundial de la Salud. Contaminación del aire en interiores y salud. [Internet]. [Consultado 2019 nov 15]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>
28. Vargas S, Onatra W, Osorno L, Páez E, Sáenz O. Contaminación atmosférica y efectos respiratorios en niños, en mujeres embarazadas y en adultos mayores. [Internet]. rev.udcaactual.divulg.cient. vol.11 no.1 Bogotá Jan./June 2008. [Consultado 2020 feb 12]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262008000100006
29. Arduzzo F, Neffen H, Fernandez E, Saranz R, Parisi C, Ciceran A. Intervención ambiental en las enfermedades respiratorias. Rev Medicina. 2019. Vol 79(2) [consultado 2020 mar 21].

30. Jimenez Hernandez L. Efectos de la contaminación atmosférica por PM10 sobre las consultas a urgencias por enfermedades respiratorias en menores de 15 años y mayores de 60 años y mortalidad general en cali, durante 2010 y 2011. [Trabajo de grado como requisito parcial para optar al título de Magíster en Epidemiología]. Cali, Universidad del Valle del Cauca. Facultad de Salud – Escuela de Salud Publica. 2011.
31. Calidad del aire y salud. [Internet]. Gobierno de España [consultado 2020 mar 31]. Disponible en: <http://archivo.ecodes.org/salud-calidad-aire/Impactos-sobre-la-salud-de-la-contaminacion-del-aire-Grupos-de-poblacion-mas-vulnerables>
32. Solorzano Santos F, Miranda Novales G. Influenza. [Internet]. Bol. Med. Hosp. Infant. Mex. vol.66 no.5 México sep./oct. 2009. [consultado 2020 abr 15]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-11462009000500010
33. Colombia. Departamanto Administrativo Nacional de Estadistica (DANE). Boletin de censo general municipio de Rionegro. [Internet]. [consultado 2019 mar 1]. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL_PDF_CG2005/0561_5T7T000.PDF.
34. Piñero Jimenez Grisales Romero H, Nieto Lopez E, Montelagre Hernandez N, Villa Garzon F, Agudelo Cadavid R. Contaminacion atmosférica y sus efectos sobre la salud de los habitantes del Valle de Aburra 2018 - 2015. [Internet]. Medellin. Area Metropolitana del Valle de Aburra. [consultado 2020 jun 12]. Disponible en: https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Biblioteca-aire/Re-analisis/ContaminacionAtmosferica_y_sus_Efectos_en_la_Salud-AMVA_2019.pdf
35. García Ubaque J, García Ubaque C, Vaca Bohórquez M. Consulta médica en población en edad productiva y contaminación atmosférica en Bogotá: 2008 y 2010. Rev. salud pública. 2013. V 15 (4): 495-502. [consultado 2020 jun 12].
36. Salazar Cevallos A, Alvarez Miño N. Asociación de síntomas respiratorios con factores atmosféricos y climáticos en adultos en Santa Marta, Colombia. 2013. Rev Costarr Salud Pública. 2013; 22: 27-34. [consultado 2020 jul 20].
37. Rodríguez Villamizar L, Castro Ortiz H, Rey Serrano J. Efectos de la contaminación atmosférica en la salud respiratoria de población susceptible: un estudio multinivel en Bucaramanga, Colombia. Cad.

Saúde Pública, Rio de Janeiro, 28(4):749-757, abr, 2012. [consultado 2020 jul 22].

38. Antioquia. Rionegro Plan Integral de Gestión Ambiental 2013-2023 "Por un Municipio mas Verde" [Consultado 2020 Sep 15]

Anexos

Anexo 1. Solicitud de información meteorológica y ambiental

The screenshot shows the IDEAM website interface. At the top left is the IDEAM logo and the text 'Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales'. To the right is the MINAMBIENTE logo. A navigation menu on the left includes 'Mis Datos', 'Pronósticos y Alertas', 'Meteorología Aeronáutica', and 'Cambio Climático'. The user profile 'Valeria García Pabon' is displayed. Below the navigation, there are buttons for 'Regresar', 'Nueva Solicitud', 'Editar Solicitud', and 'Reportes'. The main content area is titled 'Listado de Solicitudes' and contains a search form with a text input, a 'Fecha' dropdown, and a 'Buscar' button. Below the search form is a table with the following data:

# Solicitud	Fecha
20180523123216	23/05/2018
20180523122509	23/05/2018
20180523121801	23/05/2018

At the bottom of the page, there is a 'GOBIERNO DE COLOMBIA' logo and a grid of ministry icons including Presidencia, MinHacienda, MinVivienda, Vicepresidencia, MinMinas, MinTrabajo, MinJusticia, MinComercio, MinSalud, MinDefensa, MinTIC, MinAmbiente, MinInterior, MinCultura, MinTransporte, and MinRelaciones. There are also icons for 'Atención Ciudadano' and 'Programa Especializado de Resolución'.

Anexo 2. Respuesta de Petición de Información meteorológica y Ambiental

← [Icons] 1 de 1 < >

Señor(a)(es):
Valeria Garcia Pabon
Ciudad

Asunto: Petición Información: Información Hidrometeorologica y Ambiental

En cumplimiento a lo previsto en el artículo 23 de la Constitución Política, artículo 13, 14 y ss de la ley 1437 del 2011 modificada por la Ley 1755 del 2015, Resolución interna 2628 del 18 de noviembre del 2016 y demás normas concordantes y complementarias, se da respuesta a la solicitud de información allegada; en consecuencia como adjunto encontrará el documento que contiene la información solicitada y disponible a la cual podrá acceder **únicamente a través de WORDPAD O BLOC DE NOTAS.**

Descargando el adjunto, encontrara la información existente.

Teniendo en cuenta que la solicitud allegada se presenta como solicitud de información; se hace entrega del material disponible para consulta y suministro almacenado en el Banco de Datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM-

Agradecemos no contestar este correo, y en caso de requerir realizar una solicitud adicional efectuarla a través de los siguientes canales: <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/pqrsd> o atencionalciudadano@ideam.gov.co

Es para nosotros un gusto trabajar por Colombia, por medio del suministro de información técnico científica el servicio de la planificación sectorial y al servicio de cada uno de los ciudadanos como usted.
Gracias.

NOTA: Los requerimientos correspondientes a solicitud de información, son respondidos única y exclusivamente conforme a la información disponible en nuestra base de datos y el IDEAM no se responsabiliza de la interpretación dada por terceros.

El IDEAM pone este material a disposición de los usuarios en forma individual, estando vedado toda comercialización o usufructo de la información aquí contenida.

Atentamente,

Bibiana Lissette Sandoval Báez
Coordinador Grupo de Atención al Ciudadano - IDEAM
Calle 25D No. 96B – 70
Bogotá D.C. – Colombia
Teléfono: 3527160, ext. 1200_1205_1210
<http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/pqrsd> o atencionalciudadano@ideam.gov.co

Proyecto: Katherine Chávez Ruiz
atencionalciudadano@ideam.gov.co
3527160 Ext 1219

3 archivos adjuntos [Download icon] [Refresh icon]

[Placeholder 1] [Placeholder 2] [Placeholder 3]

Anexo 3. Morbilidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs Temperatura

```
> Rio2_pm10=gam(Casos~s(Temperatura) + Lag(PM10, 0), family=poisson, data=Morbilidad)
> summary(Rio2_pm10)
```

```
Family: poisson
Link function: log
```

```
Formula:
Casos ~ s(Temperatura) + Lag(PM10, 0)
```

```
Parametric coefficients:
```

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-0.768768	0.460774	-1.668	0.0952 .
Lag(PM10, 0)	0.003425	0.019675	0.174	0.8618

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Approximate significance of smooth terms:
```

	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(Temperatura)	1	1	0.418	0.518

```
R-sq.(adj) = -0.00555  Deviance explained = 0.29%
UBRE = -0.28287  Scale est. = 1          n = 219
```


Anexo 4. Morbilidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs Humedad relativa

```
> Rio2_pm10=gam(Casos~s(HumedadRelativa) + Lag(PM10, 0), family=poisson, data=Morbilidad)
> summary(Rio2_pm10)
```

```
Family: poisson
Link function: log
```

```
Formula:
Casos ~ s(HumedadRelativa) + Lag(PM10, 0)
```

```
Parametric coefficients:
```

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-0.860781	0.490398	-1.755	0.0792 .
Lag(PM10, 0)	0.007449	0.020927	0.356	0.7219

```
---
signif. codes:  0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Approximate significance of smooth terms:
```

	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(HumedadRelativa)	1	1	0.444	0.505

```
R-sq.(adj) = -0.00531  Deviance explained = 0.307%
UBRE = -0.28299  Scale est. = 1          n = 219
```

Anexo 5. Morbilidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs Brillo solar

```
> Rio2_pm10=gam(Casos~s(Brillosolar) + Lag(PM10, 0), family=poisson, data=Morbilidad)
> summary(Rio2_pm10)
```

```
Family: poisson
Link function: log
```

```
Formula:
Casos ~ s(Brillosolar) + Lag(PM10, 0)
```

```
Parametric coefficients:
```

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-0.82115	0.47536	-1.727	0.0841 .
Lag(PM10, 0)	0.00571	0.02028	0.281	0.7783

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Approximate significance of smooth terms:
```

	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(Brillosolar)	1	1	0.466	0.495

```
R-sq.(adj) = -0.00497  Deviance explained = 0.322%
UBRE = -0.28309  Scale est. = 1          n = 219
```

Anexo 6. Morbilidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs Precipitación

```
> Rio2_pm10=gam(Casos~s(Precipitacion) + Lag(PM10, 0), family=poisson, data=Morbilidad)
> summary(Rio2_pm10)
```

```
Family: poisson
Link function: log
```

```
Formula:
Casos ~ s(Precipitacion) + Lag(PM10, 0)
```

```
Parametric coefficients:
```

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-0.795890	0.467740	-1.702	0.0888 .
Lag(PM10, 0)	0.004622	0.019962	0.232	0.8169

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Approximate significance of smooth terms:
      edf Ref.df Chi.sq p-value
s(Precipitacion)  1     1  0.398  0.528
```

```
R-sq.(adj) = -0.00584  Deviance explained = 0.268%
UBRE = -0.28272  Scale est. = 1          n = 219
```

Anexo 7. Morbilidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs Temperatura + Humedad relativa + Brillo solar + Precipitación

```
> Rio2_pm10=gam(Casos~s(Temperatura)+s(HumedadRelativa)+s(Brillosolar)+s(Precipitacion)+ Lag(PM10, 0), family=poisson, data=Morbilidad)
> summary(Rio2_pm10)
```

Family: poisson
Link function: log

Formula:
Casos ~ s(Temperatura) + s(HumedadRelativa) + s(Brillosolar) +
s(Precipitacion) + Lag(PM10, 0)

Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-0.844328	0.514576	-1.641	0.101
Lag(PM10, 0)	0.006656	0.022022	0.302	0.762

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(Temperatura)	1	1	0.024	0.876
s(HumedadRelativa)	1	1	0.001	0.975
s(Brillosolar)	1	1	0.085	0.771
s(Precipitacion)	1	1	0.279	0.597

R-sq.(adj) = -0.016 Deviance explained = 0.556%
UBRE = -0.25732 scale est. = 1 n = 219

Anexo 8. Morbilidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs Temperatura + Humedad relativa

```
> Rio2_pm10=gam(Casos~s(Temperatura)+s(HumedadRelativa)+ Lag(PM10, 0), family=poisson, data=Morbilidad)
> summary(Rio2_pm10)
```

Family: poisson
Link function: log

Formula:
Casos ~ s(Temperatura) + s(HumedadRelativa) + Lag(PM10, 0)

Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-0.828477	0.511473	-1.620	0.105
Lag(PM10, 0)	0.006025	0.021898	0.275	0.783

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(Temperatura)	1	1	0.049	0.825
s(HumedadRelativa)	1	1	0.074	0.785

R-sq.(adj) = -0.00971 Deviance explained = 0.34%
UBRE = -0.27408 Scale est. = 1 n = 219

Anexo 9. Morbilidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs Temperatura + Humedad relativa + Brillo solar

```
> Rio2_pm10=gam(Casos~s(Temperatura)+s(HumedadRelativa)+s(Brillosolar)+ Lag(PM10, 0), family=poisson, data=Morbilidad)
> summary(Rio2_pm10)
```

Family: poisson
Link function: log

Formula:
Casos ~ s(Temperatura) + s(HumedadRelativa) + s(Brillosolar) +
Lag(PM10, 0)

Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-0.830213	0.512102	-1.621	0.105
Lag(PM10, 0)	0.006089	0.021925	0.278	0.781

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(Temperatura)	1	1	0.024	0.876
s(HumedadRelativa)	1	1	0.016	0.900
s(Brillosolar)	1	1	0.059	0.807

R-sq.(adj) = -0.0138 Deviance explained = 0.379%
UBRE = -0.26522 Scale est. = 1 n = 219

Anexo 10. Morbilidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs Humedad relativa + Brillo Solar + Precipitación

```
> Rio2_pm10=gam(Casos~ s(HumedadRelativa)+s(Brillosolar)+s(Precipitacion)+ Lag(PM10, 0), family=poisson, data=Morbilidad)
> summary(Rio2_pm10)
```

```
Family: poisson
Link function: log
```

```
Formula:
Casos ~ s(HumedadRelativa) + s(Brillosolar) + s(Precipitacion) +
      Lag(PM10, 0)
```

```
Parametric coefficients:
```

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-0.866780	0.494475	-1.753	0.0796 .
Lag(PM10, 0)	0.007644	0.021103	0.362	0.7172

```
---
signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Approximate significance of smooth terms:
```

	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(HumedadRelativa)	1	1	0.018	0.893
s(Brillosolar)	1	1	0.113	0.736
s(Precipitacion)	1	1	0.279	0.597

```
R-sq.(adj) = -0.0113  Deviance explained = 0.54%
UBRE = -0.26634  Scale est. = 1          n = 219
```

Anexo 11. Morbilidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs Humedad relativa + Brillo Solar

```
> Rio2_pm10=gam(Casos~ s(HumedadRelativa)+s(Brillosolar)+ Lag(PM10, 0), family=poisson, data=Morbilidad)
> summary(Rio2_pm10)
```

Family: poisson
Link function: log

Formula:
Casos ~ s(HumedadRelativa) + s(Brillosolar) + Lag(PM10, 0)

Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-0.852553	0.492143	-1.732	0.0832 .
Lag(PM10, 0)	0.007073	0.021011	0.337	0.7364

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(HumedadRelativa)	1	1	0.062	0.804
s(Brillosolar)	1	1	0.084	0.772

R-sq.(adj) = -0.00913 Deviance explained = 0.362%
UBRE = -0.27424 Scale est. = 1 n = 219

Anexo 12. Morbilidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs todas las covariables y factores

```
> Rio2_pm10=gam(Casos~ s(Temperatura)+ s(HumedadRelativa)+s(Brilliosolar)+s(Precipitacion)+(Festivo)+(Mes)+(Dia)+Lag(PM10, 0), family=poisson, data=Morbilidad)
> summary(Rio2_pm10)
```

Family: poisson
Link function: log

Formula:
Casos ~ s(Temperatura) + s(HumedadRelativa) + s(Brilliosolar) +
s(Precipitacion) + (Festivo) + (Mes) + (Dia) + Lag(PM10,
0)

Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-0.260958	0.760524	-0.343	0.732
Festivo	-0.302125	0.324830	-0.930	0.352
Mes	-0.053806	0.065581	-0.820	0.412
Día	-0.007420	0.056146	-0.132	0.895
Lag(PM10, 0)	0.005671	0.022901	0.248	0.804

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(Temperatura)	1	1	0.026	0.871
s(HumedadRelativa)	1	1	0.097	0.756
s(Brilliosolar)	1	1	0.122	0.727
s(Precipitacion)	1	1	0.308	0.579

R-sq. (adj) = -0.0133 Deviance explained = 1.95%
UBRE = -0.23781 Scale est. = 1 n = 218

Anexo 13. Morbilidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs todas las covariables y factores, excepto día

```
> Rio2_pm10=gam(Casos~ s(Temperatura)+ s(HumedadRelativa)+s(Brillosolar)+s(Precipitacion)+(Festivo)+(Mes)+Lag(PM10, 0), family=poisson, data=Morbilidad)
> summary(Rio2_pm10)
```

Family: poisson
Link function: log

Formula:
Casos ~ s(Temperatura) + s(HumedadRelativa) + s(Brillosolar) +
s(Precipitacion) + (Festivo) + (Mes) + Lag(PM10, 0)

Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-0.255061	0.722001	-0.353	0.724
Festivo	-0.327633	0.293176	-1.118	0.264
Mes	-0.054759	0.064932	-0.843	0.399
Lag(PM10, 0)	0.004834	0.022755	0.212	0.832

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(Temperatura)	1	1	0.040	0.841
s(HumedadRelativa)	1	1	0.047	0.828
s(Brillosolar)	1	1	0.192	0.661
s(Precipitacion)	1	1	0.304	0.582

R-sq.(adj) = -0.00793 Deviance explained = 2%
UBRE = -0.24902 Scale est. = 1 n = 219

Anexo 14. Morbilidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs todas las covariables y Festivo

```
> Rio2_pm10=gam(Casos~ s(Temperatura)+ s(HumedadRelativa)+s(Brilliosolar)+s(Precipitacion)+(Festivo)+Lag(PM10, 0), family=poisson, data=Morbilidad)
> summary(Rio2_pm10)
```

Family: poisson
Link function: log

Formula:
Casos ~ s(Temperatura) + s(HumedadRelativa) + s(Brilliosolar) +
s(Precipitacion) + (Festivo) + Lag(PM10, 0)

Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-0.673184	0.530103	-1.270	0.204
Festivo	-0.341480	0.292285	-1.168	0.243
Lag(PM10, 0)	0.001371	0.022371	0.061	0.951

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(Temperatura)	1	1	0.026	0.871
s(HumedadRelativa)	1	1	0.010	0.920
s(Brilliosolar)	1	1	0.144	0.704
s(Precipitacion)	1	1	0.384	0.535

R-sq.(adj) = -0.00832 Deviance explained = 1.53%
UBRE = -0.25491 Scale est. = 1 n = 219

Anexo 15. Mortalidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs Humedad relativa

```
> Rio2_pm10=gam(Muertes~ s(HumedadRelativa) + Lag(PM10, 0), family=poisson, data=Mortalidad)
> summary(Rio2_pm10)
```

Family: poisson
Link function: log

Formula:
Muertes ~ s(HumedadRelativa) + Lag(PM10, 0)

Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-3.35549	2.33547	-1.437	0.151
Lag(PM10, 0)	-0.02145	0.10148	-0.211	0.833

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(HumedadRelativa)	2.427	3.081	3.431	0.351

R-sq.(adj) = 0.0821 Deviance explained = 13.1%
UBRE = -0.79617 Scale est. = 1 n = 201

Anexo 16. Mortalidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs Precipitación

```
> Rio2_pm10=gam(Muertes~ s(Precipitacion) + Lag(PM10, 0), family=poisson, data=Mortalidad)
> summary(Rio2_pm10)
```

```
Family: poisson
Link function: log
```

```
Formula:
Muertes ~ s(Precipitacion) + Lag(PM10, 0)
```

```
Parametric coefficients:
```

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-4.51865	2.09539	-2.156	0.031 *
Lag(PM10, 0)	0.03444	0.08696	0.396	0.692

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Approximate significance of smooth terms:
```

	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(Precipitacion)	1	1	0.158	0.691

```
R-sq.(adj) = -0.00689  Deviance explained = 1.05%
```

```
UBRE = -0.7883  Scale est. = 1          n = 201
```

```
~ |
```

Anexo 17. Mortalidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs Temperatura

```
> Rio2_pm10=gam(Muertes~ s(Temperatura) + Lag(PM10, 0), family=poisson, data=Mortalidad)
> summary(Rio2_pm10)
```

```
Family: poisson
Link function: log
```

```
Formula:
Muertes ~ s(Temperatura) + Lag(PM10, 0)
```

```
Parametric coefficients:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -4.60334    2.13348  -2.158  0.031 *
Lag(PM10, 0)  0.03431    0.08825   0.389  0.697
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Approximate significance of smooth terms:
              edf Ref.df Chi.sq p-value
s(Temperatura)  1     1  0.958  0.328
```

```
R-sq.(adj) = -0.00234  Deviance explained = 3.35%
UBRE = -0.79252  Scale est. = 1          n = 201
```

Anexo 18. Mortalidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs Brillo solar

```
> Rio2_pm10=gam(Muertes~ s(Brillosolar) + Lag(PM10, 0), family=poisson, data=Mortalidad)
> summary(Rio2_pm10)
```

```
Family: poisson
Link function: log
```

```
Formula:
Muertes ~ s(Brillosolar) + Lag(PM10, 0)
```

```
Parametric coefficients:
```

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-4.244508	2.087178	-2.034	0.042 *
Lag(PM10, 0)	0.008991	0.088284	0.102	0.919

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Approximate significance of smooth terms:
              edf Ref.df Chi.sq p-value
s(Brillosolar) 2.572  3.178  3.417  0.365
```

```
R-sq.(adj) = 0.00713  Deviance explained = 14%
UBRE = -0.79638  Scale est. = 1          n = 201
```

Anexo 19. Mortalidad. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs Brillo solar + Precipitación

```
> Rio2_pm10=gam(Muertes~s(Brillosolar)+s(Precipitacion) + Lag(PM10, 0), family=poisson, data=Mortalidad)
> summary(Rio2_pm10)
```

Family: poisson
Link function: log

Formula:
Muertes ~ s(Brillosolar) + s(Precipitacion) + Lag(PM10, 0)

Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-4.220100	2.092360	-2.017	0.0437 *
Lag(PM10, 0)	0.007953	0.088711	0.090	0.9286

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(Brillosolar)	2.556	3.16	3.243	0.387
s(Precipitacion)	1.000	1.00	0.010	0.922

R-sq.(adj) = 0.00173 Deviance explained = 13.9%
UBRE = -0.78648 scale est. = 1 n = 201

Anexo 20. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs todas las covariables y factores, excepto Festivo

```
> Rio2_pm10=gam(Muertes~ s(Temperatura)+ s(HumedadRelativa)+s(Brilliosolar)+s(Precipitacion)+(Dia)+(Mes)+ Lag(PM10, 0), family=poisson, data=Mortalidad)
Warning message:
In newton(lsp = lsp, X = G$X, y = G$y, Eb = G$Eb, URS = G$URS, L = G$L, :
Iteration limit reached without full convergence - check carefully
> summary(Rio2_pm10)

Family: poisson
Link function: log

Formula:
Muertes ~ s(Temperatura) + s(HumedadRelativa) + s(Brilliosolar) +
s(Precipitacion) + (Dia) + (Mes) + Lag(PM10, 0)

Parametric coefficients:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)  -176.053  243258.514  -0.001  0.999
Dia           13.092  13613.796   0.001  0.999
Mes           2.921  11327.626   0.000  1.000
Lag(PM10, 0)  -2.529   2325.303  -0.001  0.999

Approximate significance of smooth terms:
              edf Ref.df chi.sq p-value
s(Temperatura)  4.962  5.220     0      1
s(HumedadRelativa) 4.896  5.487     0      1
s(Brilliosolar)    1.000  1.000     0      1
s(Precipitacion)  1.000  1.000     0      1

R-sq.(adj) = 1 Deviance explained = 100%
UBRE = -0.84143 Scale est. = 1 n = 200
.
```

Anexo 21. Resultados de modelo GAM para asociación entre PM10 vs todas las covariables y día

```
> Rio2_pm10=gam(Muertes~ s(Temperatura)+ s(HumedadRelativa)+s(BrilloSolar)+s(Precipitacion)+(Mes)+ Lag(PM10, 0), family=poisson, data=Mortalidad)
warning messages:
1: Step size truncated due to divergence
2: In newton(lsp = lsp, X = G$X, y = G$y, Eb = G$Eb, UrS = G$UrS, L = G$L, :
Iteration limit reached without full convergence - check carefully
> summary(Rio2_pm10)

Family: poisson
Link function: log

Formula:
Muertes ~ s(Temperatura) + s(HumedadRelativa) + s(BrilloSolar) +
s(Precipitacion) + (Mes) + Lag(PM10, 0)

Parametric coefficients:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)  -182.994  45048.133  -0.004  0.997
Mes           1.865    384.258   0.005  0.996
Lag(PM10, 0)  -2.237    240.581  -0.009  0.993

Approximate significance of smooth terms:
              edf Ref.df Chi.sq p-value
s(Temperatura)  5.976  6.019  0.002  1.000
s(HumedadRelativa) 5.074  5.509  0.003  1.000
s(BrilloSolar)    1.000  1.000  0.000  0.991
s(Precipitacion)  1.000  1.000  0.000  0.994

R-sq.(adj) = 1 Deviance explained = 100%
UBRE = -0.8403 scale est. = 1 n = 201
```