



**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO**

**¿Cuál es la relación existente entre las concentraciones de material particulado y las admisiones a centros médicos por enfermedades respiratorias agudas en Bogotá?**

Juliana María Quintero Forero

Asesor de tesis:  
Paul Andrés Rodríguez Lesmes

Tesis  
Maestría en Economía de las Políticas Públicas  
Facultad de Economía  
Bogotá D.C, Colombia  
Mayo, 2020

## **Abstract**

En este artículo busco encontrar la relación que tienen las emisiones diarias del material particulado (PM10 Y PM2.5) en la ciudad de Bogotá para los años 2016 y 2017, y las admisiones en los hospitales por enfermedades respiratorias agudas. Utilizo los datos de las emisiones que son capturados por 12 estaciones de monitoreo de calidad del aire que están distribuidos en toda la ciudad y los Los Registros Individuales de Prestación de Servicios de Salud – RIPS (Ministerio de salud). Para esto realizo buffers de 3,5 km alrededor de las estaciones de monitoreo y aquellos centros médicos que han quedado dentro del buffer de la estación les será asignado el nivel de concentración que midió ese día esa estación. De esta manera estoy explotando la variación que hay entre los dos años en la concentración de emisiones el mismo día de diferente año, en el mismo centro médico. Encuentro que ante un aumento de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el promedio diario de la medición de PM 2.5, las asistencias a los centros médicos de niños de 1 – 5 años por enfermedades respiratorias por cada 100.000 habitantes aumentan en promedio 0.0434. Esto significa un aumento de 0.12%. Finalmente, concluyo que el gobierno colombiano debe tomar más control sobre las medidas que ha tomado en años anteriores, como la salida de circulación de vehículos viejos que hacen parte de la flota de servicio público y que, hoy, aún siguen circulando dentro de la ciudad aportando en un gran porcentaje a los niveles de emisiones de la ciudad. Además, la necesidad de control sobre la construcción de avenidas alternas para el paso de vehículos de carga pesada es evidente, ya que hacen parte de los vehículos que más aportan a los niveles de concentración.

## Contenido

1. Introducción.....	4
2. Revisión de Literatura.....	6
2.1. Contexto de ciudad.....	9
3. Datos.....	13
3.1. Estadística descriptiva.....	15
4. Estrategia empírica.....	16
4.1. Limitaciones.....	18
5. Resultados.....	19
5.1. Rezagos.....	21
5.2. Resultados a nivel semana.....	23
6. Recomendaciones de política pública.....	24
7. Anexos.....	26
8. Bibliografía.....	30

## 1. Introducción

En los últimos años las alarmas por contaminación del aire se han encendido alrededor del mundo. En 2018 la OMS publicaba un comunicado de prensa bajo un título que para muchos podría ser aterrador, “Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado”, en este comunicado se afirmaba que 4.2 millones de muertes habían sido atribuidas a la contaminación del aire en 2016<sup>1</sup>.

Cuando empezamos a detallar esta situación por ciudades, observamos que para más de 3000 ciudades que fueron incluidas en el Reporte de Calidad del Aire Mundial (2018) realizado por IQAir<sup>2</sup>, el 64% de estas ciudades excedían los lineamientos anuales de concentraciones de PM<sub>2,5</sub> definidos por la OMS. Aunque más del 89% de las ciudades del continente asiático excedían el lineamiento anual, algunas ciudades de países latinoamericanos como Perú, Chile, México, Brasil y Colombia, se encontraban en el top 50 de las ciudades con mayores concentraciones de PM<sub>2,5</sub>.

Si bien, ciudades como Santiago de Chile, Lima y Ciudad de México, se encontraban dentro de las primeras 30 ciudades con mayores niveles de concentración por encima de Colombia, la situación local no es muy favorecedora. En el país, a comienzos del 2019, los estados de alerta de calidad del aire se encendían para las ciudades de Medellín, Bucaramanga y Bogotá<sup>3</sup> debido a los altos niveles de material particulado. El estudio publicado en el 2019 por el INS (Instituto Nacional de Salud) concluía que, cada año, 17.549 muertes estaban asociadas a la exposición al aire y agua de mala calidad. En sus hallazgos, encontraban que entre las enfermedades que estaban asociadas a la mala calidad del aire se encontraban las infecciones respiratorias agudas. Lo que me lleva a preguntarme ¿Cuál es la relación existente entre las concentraciones de material particulado y las admisiones a centros médicos por enfermedades respiratorias agudas en Bogotá?

Para responder esta pregunta es importante enfatizar en que el material particulado es de los contaminantes que exceden continuamente los límites establecidos como seguros en las ciudades (DNP, 2018). Su importancia en la salud radica en el tamaño de la partícula, es decir, PM<sub>10</sub> que son las partículas que tienen un tamaño entre 2,5 y 10 micras, no son realmente inhaladas hasta las vías profundas, por otro lado, el material particulado más pequeño puede inclusive llegar al torrente sanguíneo. Esto me lleva a hacer un enfoque en el PM 2.5 debido a su tamaño y a su alto riesgo sobre

---

<sup>1</sup> (OMS, 2018)

<sup>2</sup> compañía suiza especializada en soluciones tecnológicas para proteger a la población de los contaminantes

<sup>3</sup> (Semana, 2019)

la salud (EPA, 2019). En Bogotá, los registros de las emisiones de PM<sub>2.5</sub> muestran que para 2012, estas emisiones provenían en un 78% de las fuentes móviles y un 22% de fuentes fijas (DNP, 2018) .

En la ciudad hay 13 estaciones fijas de medición de la calidad del aire que se encuentran distribuidas en toda la ciudad, las cuales reportan diferentes niveles de concentraciones durante todos los días del año. Estas concentraciones varían debido a los comportamientos de la dirección y velocidad del viento durante el día y durante diferentes épocas del año en las diferentes zonas de la ciudad, también se ven afectadas por si es un día entre semana o un fin de semana, las épocas de vacaciones de mitad de año y los incendios forestales en los cerros de la ciudad, entre otros. Debido a estos comportamientos, la secretaria de ambiente no recomienda la generalización del comportamiento de las concentraciones para toda la ciudad (Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogota-RMCAB, 2017). Estas estaciones se encuentran ubicadas en su mayoría sobre una avenida principal o cerca de ellas, lo que permite tener una buena medición de las emisiones producidas por fuentes móviles.

Diferentes autores han aportado estudios a este tema, algunos de ellos han utilizado las variaciones de la distancia a las fuentes de emisión más importantes, principalmente a fuentes móviles, para encontrar el efecto sobre la salud de los individuos. Autores como Klem y Mason (2003) y Ostro et al (2006), se enfocan en encontrar cual es el incremento en el riesgo relativo de mortalidad por causas respiratorias ante aumentos de concentraciones de PM<sub>2.5</sub>. Otros autores como Hong et al. (2002), Kan et al. (2003) y Tsai et al. (2003), buscan los efectos de corto plazo que tienen las exposiciones a concentraciones de PM<sub>2,5</sub> sobre las admisiones hospitalarias por causas cardiovasculares.

En este trabajo, estimaré la correlación que tiene el cambio en las concentraciones de material particulado (PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>) sobre el cambio de las asistencias de individuos a los centros médicos por enfermedades respiratorias agudas para los diferentes grupos de edad, haciendo énfasis en el grupo de niños de 1 a 5 años. Uno de los resultados encontrados muestra que ante un aumento de 10 µg/m<sup>3</sup> en el promedio diario de la medición de PM 2.5, las asistencias a los centros médicos de niños de 1 – 5 años por enfermedades respiratorias por cada 100.000 habitantes aumentan en promedio 0. 0434. Esto significa un aumento de 0.12% con respecto al promedio diario (6.87) de asistencias del mismo grupo de edad. El resto del documento se encuentra estructurado de la siguiente manera: revisión de literatura, una descripción de los datos, estadística descriptiva, la estrategia empírica, los resultados y recomendación de política pública.

## 2. Revisión de Literatura

A lo largo de la historia, diferentes autores se han encaminado en la búsqueda del efecto que tienen los diferentes contaminantes sobre la salud de las personas. El material particulado es el término que se utiliza para la mezcla de partículas sólidas y líquidas que se encuentran suspendidas en el aire, entre sus componentes podemos encontrar sulfatos, nitratos, amoníaco, polvo de minerales, cenizas metálicas, entre otras. Las fuentes de su composición difieren dependiendo del tamaño de la partícula y se pueden derivar de actividades naturales o humanas. Una porción significativa se genera de la actividad derivada por las personas, entre ellas, las operaciones de agricultura, los procesos industriales, la combustión de madera y de combustibles fósiles (EPA, 2019).

El tamaño de la partícula está directamente asociado con una potencial causa de problemas en la salud. Entre menor sea el tamaño de las partículas son más peligrosas, ya que pueden llegar muy profundo en el sistema respiratorio e inclusive pueden llegar al sistema sanguíneo, además, estas partículas permanecen suspendidas en el aire por una mayor cantidad de tiempo, penetran fácilmente en los ambientes interiores y son transportadas por una mayor distancia (Pope & Dockery, 2006). La exposición a estas partículas puede afectar tanto los pulmones como el corazón llevando a una variedad de problemas, incluyendo la muerte prematura en personas con problemas del corazón o pulmonares, ataques cardíacos no mortales, arritmias cardíacas, complicaciones en problemas asmáticos, disminución de la función pulmonar y aumento en síntomas respiratorios como la irritación de las vías respiratorias, tos o dificultad al respirar. (EPA Environmental Protection Agency, 2018)

Las personas con enfermedades pulmonares, los adultos mayores y los niños, son las poblaciones más vulnerables a la exposición del material particulado, sobre todo cuando están físicamente activas ya que el ejercicio y la actividad física provocan que las personas tiendan a respirar más rápido y más profundo, absorbiendo así muchas más partículas a sus pulmones. Debido a que los pulmones de la población infantil aún se están desarrollando en sus primeros años y pasan un mayor tiempo realizando actividades físicas, los hace más probables de sufrir asma o enfermedades respiratorias, lo que se intensifica cuando los niveles de material particulado son altos. (EPA Environmental Protection Agency, 2003)

Pope y Dockery (2006), se encargan de realizar una revisión en las principales 6 líneas de investigación que han ayudado a entender los efectos del material particulado desde 1997, enfocándose en los estudios epidemiológicos o humanos. Después de su extenso análisis, en más de 10 estudios encuentran que la exposición del material particulado sobre los niños es asociada con déficits en la

función pulmonar, crecimiento de la función pulmonar, mayores enfermedades y síntomas respiratorios, y hospitalizaciones por enfermedades respiratorias.

Algunos de estos estudios epidemiológicos son los de Laden, Neas, Dockery, & Schwartz (2000), quienes se enfocan en seis diferentes áreas metropolitanas de Estados Unidos obteniendo datos de PM<sub>2.5</sub> Y PM<sub>10</sub>, datos meteorológicos (temperatura, temperatura de punto de rocío y precipitación), y datos de muertes diarias por causas, enfocándose en la cardiopatía isquémica, la neumonía y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica. Encuentran en su análisis, controlado por otras fuentes de contaminación, que un incremento de 10 µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>2.5</sub> explicaba el aumento de un 3.4% en la mortalidad diaria por fuentes móviles.

Schwartz (2000), utiliza datos de emisiones de PM<sub>10</sub> para 10 ciudades en EE. UU., y encuentra que las emisiones de material particulado son un predictor significativo de las muertes diarias. De la misma manera, Burnett, et al. (2000), durante 10 años, realiza un estudio para 8 ciudades de Canadá, con datos de Material Particulado (PM<sub>10</sub> Y PM<sub>2.5</sub>), incluyendo datos de promedio de temperatura diaria, humedad relativa y cambio máximo en la presión barométrica dentro de un día. Concluye que, las variaciones diarias tanto en la contaminación en fase gaseosa como en su fase de partículas tienen asociaciones positivas y significativas sobre las fluctuaciones de mortalidad en las 8 ciudades.

Algunos de los estudios realizados anteriormente, han hecho énfasis en la influencia de la distancia de las personas a las diferentes fuentes de contaminación, específicamente aquellas atribuidas al tráfico y los impactos sobre la salud. Algunas de ellas han relacionado el lugar de vivienda como causa principal sobre los problemas respiratorios.

Autores como Yokoyama, Nitta, Maeda, & Aoki (1985), encuentran que las amas de casa que vivían a una mayor distancia de las avenidas principales de Tokio presentaban una diferencia significativa en los síntomas de problemas respiratorios sobre aquellas mujeres que vivían a menos de 20 metros de la avenida. De igual manera, autores como Murakami, Ono, & Tamura (1990), encontraron que muchos problemas respiratorios, incluyendo jadeos y resfriados graves en niños entre 4 y 11 años, se atribuían a la corta distancia entre el hogar y las calles principales. Al igual, Ishizaki, Koizumi, Ikemori, Ishiyama, & Kushibiki (1987), encontraron que los síntomas asociados a problemas respiratorios específicos eran mayores para los residentes que vivían a menos de 200 metros de las vías de intersección comparados con el total de la población.

Este efecto que relaciona la distancia a la fuente de emisión con el impacto sobre la salud, también se puede explicar con otras investigaciones de autores como Speizer & Ferris (1973), quienes reportaron una pequeña asociación entre la exposición al humo de los carros sobre los policías en servicio y un incremento en los síntomas de problemas respiratorios. Evans, Webb, Homan, & Ayres (1988), explican que existe una disminución significativa en el funcionamiento pulmonar en aquellos oficiales que trabajaban directamente con el tráfico vehicular dentro de los túneles, que aquellos que trabajan con el tráfico vehicular sobre los puentes. Y finalmente, Gamble, Jones, & Minshall (1987), encuentran que la función pulmonar de aquellos hombres que trabajaban en los garajes de autobuses tiene una relación negativa con la duración del trabajo. Es decir, si los individuos estaban expuestos en una zona cerrada durante varias horas, tendrían mayores problemas respiratorios.

Algunos de los estudios en la academia, hacen énfasis en el efecto de los contaminantes sobre los individuos más jóvenes. Wjst, y otros (1993), Realizan un estudio entre 1989 y 1990 para los niños de 9 a 11 años en la ciudad de Múnich. Concluyen que, los niños que vivían en los distritos escolares con mayor tráfico mostraban una reducción en el funcionamiento pulmonar. Por su parte Ko, et al. (2007), realizan un estudio enfocándose en los diferentes grupos de edad y el número de admisiones en los centros médicos por diagnósticos de asma. Concluyen que el grupo de edad más joven (0-14) tiende a tener un mayor riesgo relativo de hospitalizaciones por cada aumento de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en diferentes contaminantes, entre ellos PM10 y PM2.5, para diferentes días de rezago.

Por otra parte, Clark, et al. (2010), prefieren enfocarse únicamente en los diagnósticos de asma para niños entre 3 y 4 años en la ciudad de British Columbia influenciados por diferentes contaminantes. Encuentran que aquellos niños que tienen una mayor exposición a los contaminantes asociados al tráfico, como lo son el PM10 y PM2.5, tienen un mayor riesgo de ser diagnosticados con asma y también pueden ser asociados al desarrollo de una nueva enfermedad.

Gehring, et al. (2010), Estudian la asociación de la contaminación relacionada con el tráfico y el desarrollo de asma, alergias, y síntomas relacionados con el asma, desde el nacimiento del niño hasta los 8 años. Encuentran que la incidencia y prevalencia de asma, y la incidencia y prevalencia de los síntomas relacionados con el asma estaban asociados positivamente con la contaminación del aire en la dirección de nacimiento del niño, y estos efectos eran mucho más fuertes si el niño permanecía durante los 8 años en la misma dirección.

Para Bogotá, Behrentz, Cancino, & Gaitán (2007), señalan que se han realizado estudios haciendo énfasis en la calidad del aire en Bogotá dado que, a pesar de diferentes esfuerzos realizados en los

últimos años, el problema de la contaminación en Bogotá va en aumento debido al crecimiento económico y al mayor número de autos en la ciudad. Encuentran que las mediciones para CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> Y O<sub>3</sub>, no superan los valores establecidos por la reglamentación ambiental de la ciudad, por el contrario, las concentraciones de material particulado como PM<sub>2.5</sub> Y PM<sub>10</sub> superan estos valores establecidos el 40% de los días del año.

## 2.1. Contexto de ciudad

Dado lo anterior, es importante esclarecer las guías actuales recomendadas por la OMS. Para PM<sub>10</sub> es de 20µg/m<sup>3</sup> promedio anual, 50µg/m<sup>3</sup> promedio diario y para PM<sub>2.5</sub> es de 10µg/m<sup>3</sup> de media anual y 25µg/m<sup>3</sup> de media diaria. En el contexto nacional, la Resolución 610 de 2010 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), establece los nuevos niveles máximos permisibles, siendo estos para PM<sub>10</sub> es de 50 µg/m<sup>3</sup> promedio anual, 100 µg/m<sup>3</sup> promedio diario y para PM<sub>2.5</sub> es de 25 µg/m<sup>3</sup> de media anual y 50 µg/m<sup>3</sup> de media diaria.

En Bogotá existe la Red de Monitoreo de Calidad del aire que hace parte de la Secretaria Distrital de Ambiente, esta red de monitoreo permite recolectar la información sobre la concentración de los contaminantes y variables meteorológicas. Para el 2017 estaba conformada por 13<sup>4</sup> estaciones de medición, de las cuales 12 eran fijas y una móvil. Estas estaciones se encuentran distribuidas en sectores estratégicos de la ciudad de Bogotá, las cuales permiten el monitoreo continuo de las concentraciones de material particulado (PM 10, PST, PM 2.5), de gases contaminantes como SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y también realiza la medición de diferentes variables meteorológicas como: precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica. (Secretaria Distrital de Ambiente, 2010).

La obtención de los datos de las estaciones se realiza a través de los registros en tiempo real que son guardados en la base de datos local y se envía a la base de datos central cada hora. (Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogota-RMCAB, 2017)

---

<sup>4</sup> Las estaciones son: Guaymaral, Usaquén, Suba, Bolivia, Las ferias, Centro de Alto Rendimiento, Ministerio de Ambiente, Puente Aranda, Kennedy, Carvajal-Sevillana, Tunal, San Cristóbal y Móvil.

Ilustración 1- pm2.5

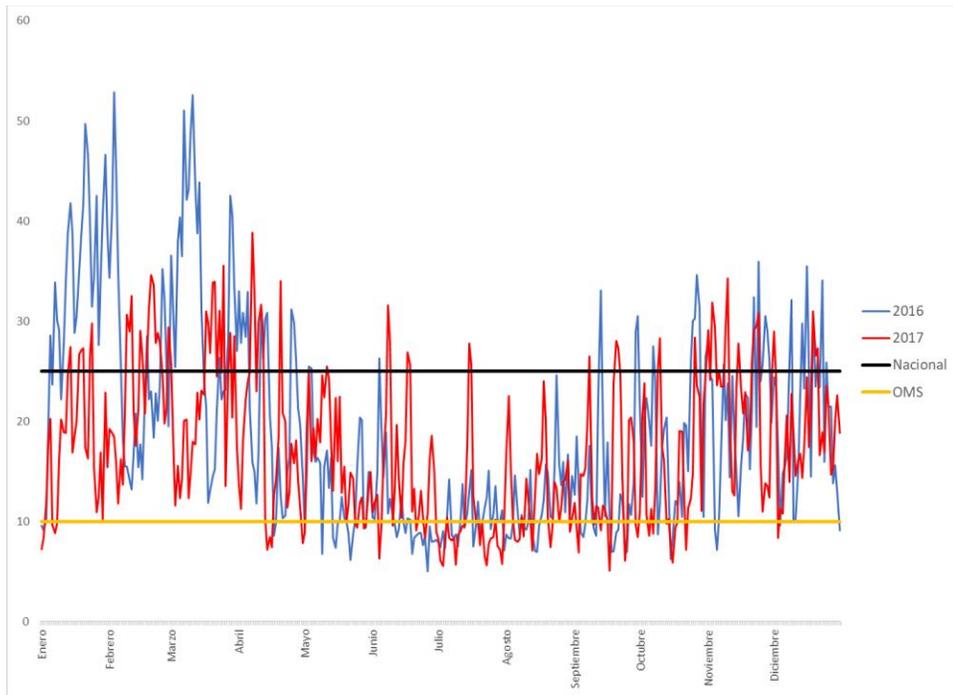


Ilustración 2- pm10

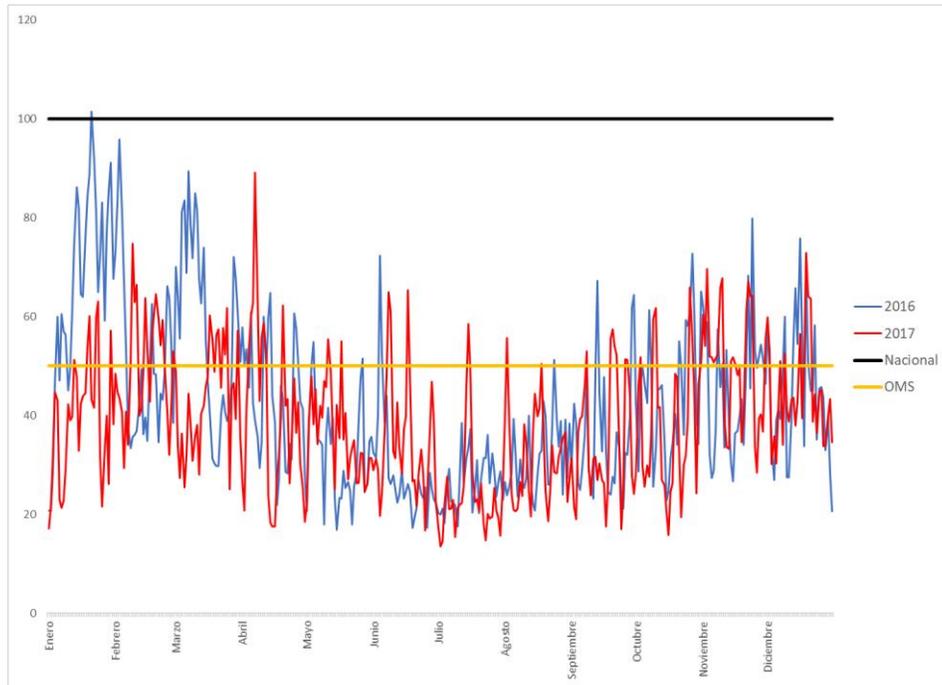
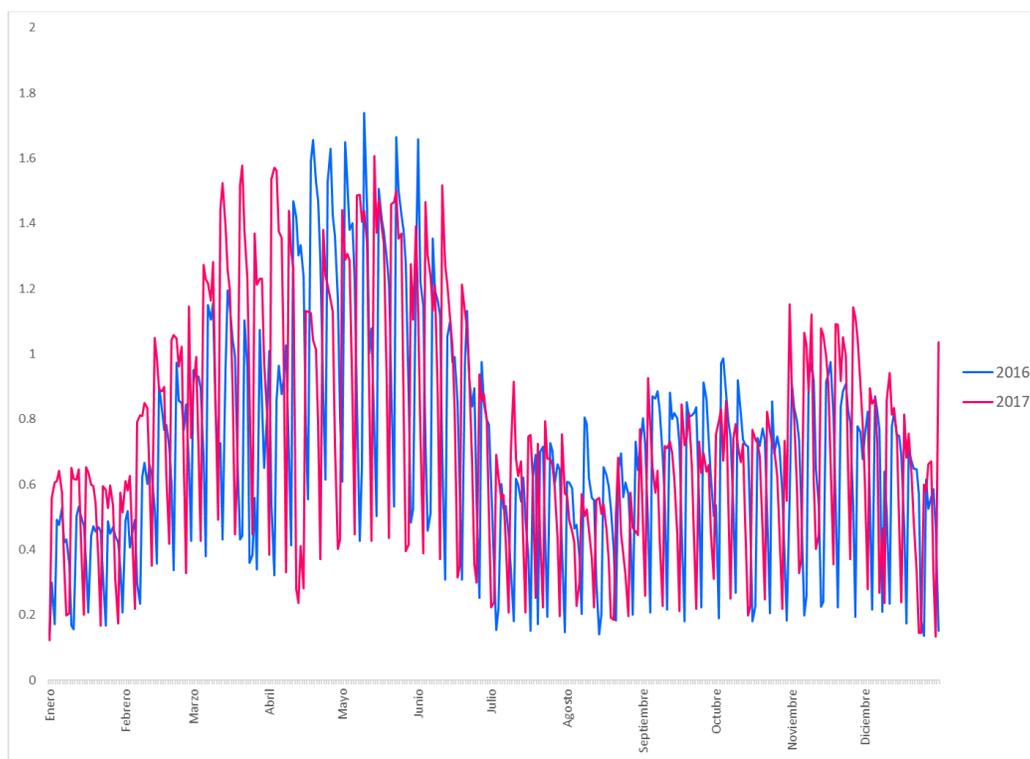


Ilustración 3-Promedio Asistencias Diarias Centros Médicos



En la ilustración 1, observamos las variaciones de las emisiones diarias de PM 2.5 durante el 2016 y el 2017. Observaremos dos límites, el máximo permitido diario nacional establecido y el máximo diario establecido por la OMS. Podemos notar que el máximo permitido nacional, que es el doble del permitido por la OMS, se incumple un gran número de veces al año dentro de la ciudad.

En la ilustración 2, observamos las variaciones de las emisiones diarias de PM 10 durante el 2016 y el 2017. Observaremos dos límites, el máximo permitido diario nacional establecido y el máximo diario establecido por la OMS. Acá podemos notar que, aunque el límite nacional sigue siendo el doble del límite establecido por la OMS, muy pocas veces durante comienzos del 2016 se incumplió para el límite nacional. A diferencia del límite de la OMS el cual se incumple un gran porcentaje de los días del año.

En la ilustración 3, observamos el promedio de las asistencias diarias a todos los centros médicos durante el 2016 y 2017. Si nos fijamos, hay un aumento en el número de admisiones de febrero a junio

y vuelve a aumentar en el mes de noviembre, esto coincide con las gráficas de concentraciones de material particulado, donde los puntos más bajos están en los meses de julio y agosto.

Para los años de estudio en la ciudad de Bogotá en temas de emisiones de PM10, 4 de las 11 estaciones de RMCAB que tuvieron mediciones validas, excedieron el máximo permisible anual, siendo la zona del suroccidente de la ciudad con mayor contaminación. Aunque en el 2017 el número de estaciones que había superado el permisible máximo disminuyó, la zona con mayores concentraciones de contaminación siguió siendo el suroccidente de la ciudad, resaltó la estación de Suba, ya que había aumentado sus niveles respecto al 2016, probablemente explicados por cambios en la dirección de viento durante el año. Las zonas con menores concentraciones se observaron en el corredor oriental, explicado por la influencia del viento que circula la mayor parte de oriente a occidente y además su cercanía a los cerros orientales, y pocas fuentes fijas de contaminación. (Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá-RMCAB, 2016)

Al concentrarnos en los datos diarios de emisiones encontramos que para el 2016 se presentaron 85 excedencias diarias, siendo el mayor número de estas en la estación de Carvajal- Sevillana. En el 2017 este número disminuyó y sólo se reportaron 21 excedencias diarias, siendo Carvajal-Sevillana la de mayor numero de excedencias, al igual que el año anterior. Estas excedencias se presentaron en el primer trimestre y cuatrimestre del 2016 y 2017, respectivamente. Los meses de menores concentraciones fueron junio y julio, probablemente influenciados por los vientos y por las vacaciones de mitad de año que lleva a la reducción de la flota vehicular en la ciudad.

Para las emisiones de PM2.5, en el 2016 solo la estación de Kennedy excedió el máximo permitido nacional, a diferencia del 2017 que aumentaron las estaciones por encima del máximo permisible, siendo Kennedy y Carvajal-Sevillana. Para los dos años, las estaciones con menores concentraciones de material particulado fueron San Cristóbal y Usaquén. La mayoría de las excedencias diarias del 2016 se dieron en el mes de febrero y en el 2017 en abril, febrero y marzo. Los altos niveles del 2016 se pueden ver explicados en una parte por los incendios presentados en los cerros orientales en el mes de febrero. (Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogota-RMCAB, 2017)

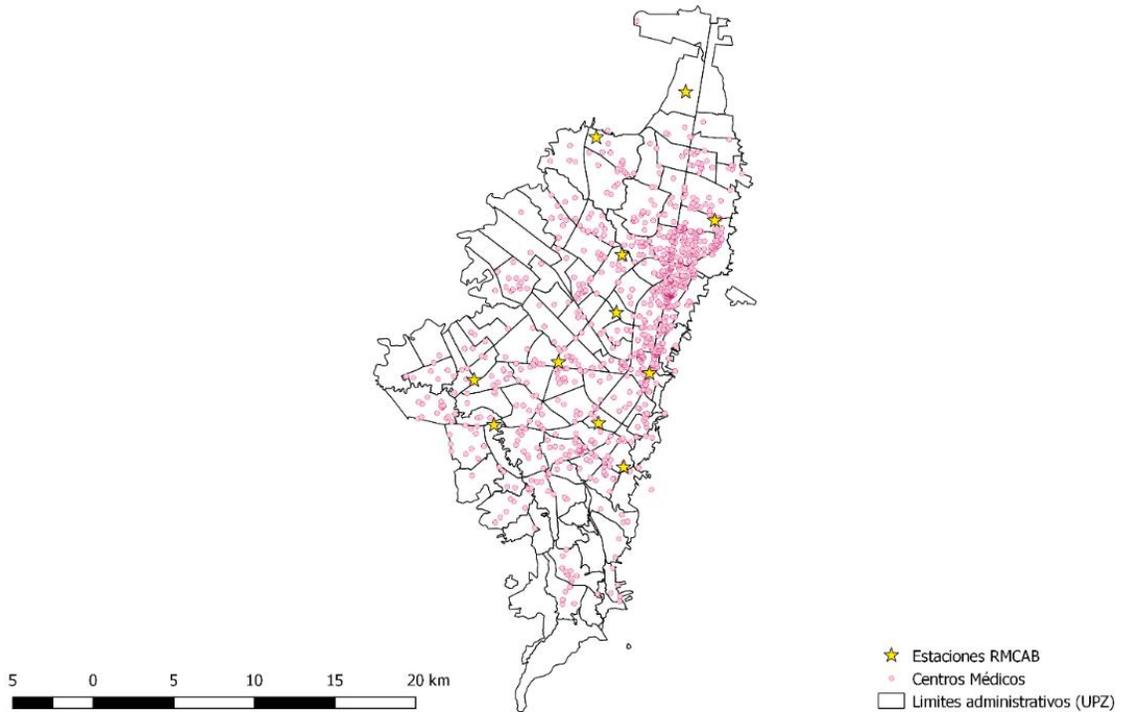
Durante la semana también vemos variaciones, se observa en general que los jueves y viernes son los días que en promedio tienen mayores niveles de contaminación y los domingos son los días que reportan menores concentraciones, debido a las variaciones industriales y reducciones de tráfico el domingo. Durante el día, las concentraciones más altas se encuentran en horas de la mañana (entre 6 y 8) y las más bajas en horas de la madrugada.

Lo anteriormente mencionado, nos lleva a tener una preocupación inminente sobre la situación de Bogotá en los últimos años, ya que, como centro urbano importante de Latinoamérica, la ciudad refleja niveles significativos de contaminación del aire, prendiendo así las alertas de diferentes sectores por la preocupación de realizar acciones que permitan disminuir estos niveles.

### 3. Datos

- **Salud:** Se usarán los datos de entradas a cada uno de los centros médicos y centros de atención de salud en Bogotá proporcionados por la base de datos de Los Registros Individuales de Prestación de Servicios de Salud – RIPS del Ministerio de salud. Esta base contiene datos de identificación, servicio, motivo de la atención y valor. Los diagnósticos de las atenciones son reportados según la codificación del CIE 10 y una de sus clasificaciones es la de enfermedades del sistema respiratorio (J00-J99) la cual se divide en subcategorías que nos permiten agrupar por enfermedades respiratorias agudas y enfermedades crónicas. Para este estudio he decidido utilizar únicamente el subgrupo de las enfermedades respiratorias agudas que son aquellas en las que se ve un efecto de corto plazo, entre las cuales se incluyen las infecciones agudas de las vías respiratorias (J00-J06), influenza gripe y neumonía (J09-J18), otras infecciones agudas de las vías respiratorias superiores (J20-J22) y otras infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores (J30-J39). He decidido utilizar los datos diarios de admisiones a los centros médicos por grupos de edad en un lapso de 2 años (2016-2017).
- **Centros Médicos:** Con los datos de salud anteriormente mencionados, que contienen el nombre de los centros médicos y su código único, los cruzo con la base del Registro Especial de Prestadores de Servicios (REPS) del Ministerio de Salud, que permite asociar a los datos de las admisiones a los centros médicos con su dirección correspondiente. Esto con el fin de georreferenciar todos los centros médicos para los cuales se tiene información.

Ilustración 4



- **Material Particulado:** para los datos de mediciones de contaminación usaré los datos reportados por la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá (RMCAB), quienes son los encargados de recopilar la información de las concentraciones de contaminantes de origen antropogénico y natural cada hora, y el comportamiento de las variables meteorológicas en Bogotá. Se recogen datos diarios de 13 estaciones fijas distribuidas por sectores en la ciudad de Bogotá, las cuales permiten el monitoreo continuo de las concentraciones de material particulado (PM 10, PST, PM 2.5), de gases contaminantes como SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y también realiza la medición de diferentes variables meteorológicas de precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010). Por calidad de la información y disponibilidad de ésta, decido utilizar únicamente el año 2016 y 2017 que son los años con información más completa de material particulado.

- **Estaciones de medición:** Se hace uso de la ubicación de 12 de las 13 estaciones fijas de medición de calidad del aire<sup>5</sup> y se georreferencian para poder asociar cada uno de los ingresos a centros médicos a la estación de medición más cercana. No utilizo la estación de Fontibón porque no recoge los datos de material particulado para ninguno de los años en estudio.

### 3.1. Estadística descriptiva

En la tabla 1 se presentan las estadísticas descriptivas de las variables que utilizo en este estudio que están organizadas en 3 paneles. El panel A corresponde a los descriptivos de los datos de los registros en los centros médicos de enfermedades respiratorias agudas por grupos de edad, el panel B describe las variables de material particulado, el promedio y el máximo diarios, y el panel C describe las características asociadas a las estaciones de medición de calidad del aire que serán utilizadas como controles (precipitación y velocidad del viento).

Tabla 1

Variable	Obs.	Promedio	Desv. Est.	Min.	Max.
<b>Panel A. Asistencias por enfermedades respiratorias agudas</b>					
1-5 años	509,507	0.7234	3.8028	0	180
5-9 años	418,132	0.3316	1.5938	0	53
10-14 años	402,050	0.2023	1.0559	0	47
15-18 años	382,313	0.1362	0.6632	0	25
19-26 años	401,319	0.4621	2.3803	0	93
27-44 años	424,711	0.7968	3.7522	0	119
45-59 años	395,471	0.4413	1.9531	0	82
Mayores de 60	388,892	0.3284	1.9042	0	114
<b>Panel B. Material Particulado</b>					
PM 2.5	431,198	18.2336	10.6288	1.5	68.7
Max PM 2.5	458,319	38.4664	20.9957	0	416
PM 10	462,807	40.3432	20.1096	4.6	137.9
Max PM 10	480,443	81.6054	44.5073	7	555
<b>Panel C. Características estaciones</b>					
Precipitación	480,380	2.7916	6.5231	0	73.5
Velocidad del viento	444,515	1.5664	0.5556	0.3	3.9

En el panel A se puede observar que efectivamente, como se ha encontrado en la literatura, los niños de 1 – 5 años son los que tienen en promedio un mayor número de registros en los centros médicos por concepto de enfermedades respiratorias agudas. El único grupo de edad, que tiene un promedio

<sup>5</sup> No se hace uso de la estación Bolivia, ya que no mide las concentraciones de las variables que se van a utilizar

más cercano es el de los adultos que se encuentran entre los 27 – 44 años. Pero es por construcción, el rango de ese grupo de edad es más amplio, por ende, se incluyen registros de asistencias de más personas.

En el panel B se puede observar que en promedio las estaciones de medición arrojaron niveles cercanos al máximo valor permitido a nivel nacional para PM 2.5. En cuanto a PM 10, el valor promedio registrado es 10mg/m<sup>3</sup> más bajo que la norma nacional. También incluyo una nueva variable que es el máximo diario de las concentraciones para los dos tipos de material particulado, donde los dos promedios están muy por arriba de la norma nacional. En promedio, las estaciones estuvieron expuestas a bajas velocidades de viento y a bajos niveles de precipitación (ver panel C).

#### 4. Estrategia empírica

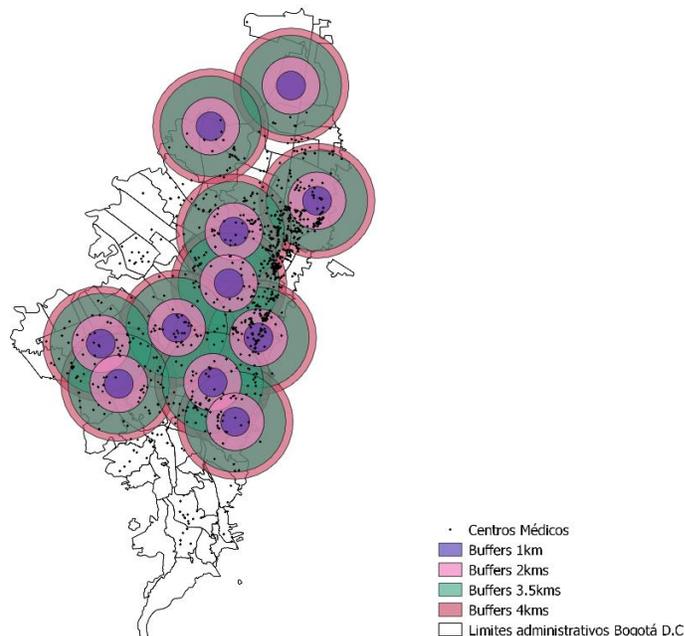
Estimaré la correlación existente entre el cambio en las concentraciones de material particulado sobre el cambio en los registros de ingresos por motivo de enfermedades respiratorias agudas para los diferentes grupos de edad, haciendo énfasis en el grupo de niños de 1 a 5 años. La estimación requiere de dos supuestos fundamentales: i) los centros médicos que se encuentran dentro de un buffer de 3.5 km alrededor del centroide de la estación de medición de calidad del aire son afectados por cambios que experimente la estación y aquellos que están por fuera no, y ii) que las personas visitan centros médicos que están cerca a sus lugares de residencia.

El supuesto i) no lo probaré, pero si mostraré ejercicios de robustez que me permiten concluir que la relación no depende del tamaño de los buffers que se establezca. Y el supuesto ii) se puede validar con información de la Encuesta Multipropósito 2017 generada por la SDP (Secretaria Distrital de Planeación, 2017). Allí se pueden encontrar un par de preguntas relacionadas con los tiempos que le toman a una persona acercarse a su IPS más cercana, cuanto tiempo se demoran caminando desde el hogar a los centros médicos y para el caso específico de los niños se puede saber cuánto tiempo demora el niño a su establecimiento de estudio. En ese mismo orden, en Bogotá las personas se demoran en promedio 39 minutos en llegar a su IPS más cercana, 29 minutos caminando a un centro médico y los niños estudian a 15 minutos de sus hogares. Esto permite validar el supuesto. Los niños cuando salen al aire libre no demoran más de 15 minutos, lo cual implica, que viven cerca de donde estudian y los otros dos datos soportan la hipótesis de que las personas asisten al centro médico más cercano de sus hogares.

En esta especificación se busca entender cuál es la correlación entre cambios en los niveles de material particulado sobre los registros de los centros médicos que tuvieron como motivo el trato de pacientes con enfermedades respiratorias agudas. Se explora la variación que hay de la calidad del aire en todo el territorio geográfico de Bogotá, utilizando las diferentes medidas de material particulado que son emitidas por las diferentes estaciones de medición de calidad del aire.

¿Cómo se define la exposición del centro médico a las medidas de material particulado? Para la asignación de emisiones de contaminación de cada centro médico, siguiendo a Gaviria-Garcés y Mata (2017), realizo buffers, que en este caso son de 3.5 km, tomando la estación de medición como centroide, y aquellos centros médicos que quedaron dentro del buffer de 3.5 km de la estación, les será asignado el nivel de contaminación que midió ese día la estación. Para los puntos donde hay superposición de los buffers sobre los centros médicos, les asigno la estación de medición que se encuentra a menor distancia. Al realizar este ejercicio de los buffers de 3.5 km estoy perdiendo el 20% de la muestra de centros médicos que no son asignados a ninguna estación (ver figura 2).

Ilustración 5



La ecuación usada para la estimación es la siguiente:

$$AssistMedic_{ict} = \gamma_i + \Theta_c + \psi_t + \beta_1 PM_{ct} + \beta_2 X_{ct} + \epsilon_{ict}$$

Donde  $i, c$  y  $t$  son los subíndices que indican el centro médico, la estación de medición y el día. Donde  $AssistMedic_{ict}$  es el número de registros médicos por enfermedades agudas respiratorias por cada 100 mil habitantes en el centro médico  $i$ , que esta dentro del buffer de 3.5 km de la estación de medición  $c$ , en el día  $t$ .  $PM_{ct}$  es el promedio diario de la medición de material particulado de 2.5 o 10 medido en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de la estación  $c$  en el día  $t$ . Nótese que la medida no varía por centro médico. La variación en la exposición de los diferentes niveles de material particulado depende a la estación que fue asociada al centro médico bajo el criterio de los buffers.  $\gamma_i$ ,  $\Theta_c$  y  $\psi_t$  son efectos fijos de centro médico, de estación y de tiempo respectivamente. Esto permite capturar la variación en los registros del centro médico entre el año 2016 y 2017 cuando está expuesto a diferentes niveles de material particulado.  $\mathbf{X}_{ct}$  es un vector controles que contiene características de las estaciones de medición de calidad del aire.  $\epsilon_{ict}$  es el error estándar agrupado a nivel de centros médicos.

La variable dependiente se presentará de manera normalizada, es decir, se utilizan los datos de las manzanas del Censo en Bogotá para calcular la población dentro de los buffers por los grupos etarios y esto se lleva a la construcción de la tasa de la siguiente manera:

$$\left( \frac{\text{RegistrosMédicos}_{1a5}}{\text{PoblacióndentroBuffer}_{1a5}} \right) \times 100.000 \text{ hab}$$

#### 4.1. Limitaciones

Una de las limitaciones del presente estudio es la calidad de información que provee cada una de las estaciones de medición de calidad del aire. Para algunos días no hay información disponible, problemas que se presentan generalmente por fallas mayores en los equipos de medición, fallas en el suministro de energía, incorporación de nuevos equipos de monitoreo en el transcurso del año y fallas de comunicación por daños en los puertos (Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá-RMCAB, 2016), fenómeno que se asevera en la medición de PM 2,5. Esta misma limitación se extiende al periodo disponible de información: solo hay datos de calidad aceptable del año 2016 para PM 2,5, por tal motivo, este estudio si limita a estudiar variaciones entre el año 2016 y 2017.

Otra limitación que enfrenta este estudio será la dificultad de atribuir relaciones causales, por lo que se reducirá a la interpretación de los resultados como correlaciones. Esta limitación nace del hecho de que la naturaleza del “tratamiento” (exposición a aire contaminado) no permite construir un grupo de control puro – todos respiramos el mismo aire – e imposibilita la construcción de un contrafactual

limpio. Por ejemplo, el desplazamiento de los individuos a otras zonas de la ciudad, por baja que sea la frecuencia puede llevar a los niños a estar expuestos a otros niveles de contaminación.

Por último, debido a que en este estudio no se busca atribuir relaciones causales y solo hablo de asociaciones, no se resuelven problemas de endogeneidad de la contaminación que pueden estar asociados a causas como que las personas puedan elegir donde vivir e incluir en sus decisiones los niveles de contaminación, proximidad a una vía principal, entre otros, dado sus ingresos.

## 5. Resultados

A continuación, se presentan los resultados de la estimación del modelo presentado en la sección anterior. Podemos observar la correlación existente entre cambios en la concentración de partículas en el aire y las enfermedades respiratorias agudas de los niños entre 1 – 5 años, más específicamente, sobre el cambio en registros médicos por enfermedades agudas respiratorias por cada 100 mil habitantes por parte de los niños que pertenecen a este grupo de edad.

En primer lugar, se estima la relación que existe en cambios en el material particulado PM 2,5 y las asistencias a centros médicos por enfermedades respiratorias. En la tabla 2, se presentan las estimaciones de la ecuación 1, donde todas las especificaciones tienen los errores estándar agrupados a nivel de estación centro médico. En las columnas 1 – 4 se presentan los resultados para la correlación que existe entre el promedio diario de material particulado PM 2.5 y en las 5 – 8 para PM 10.

La columna 1 es la especificación sin controles, la columna 2 incluye los controles, la 3 es una especificación completa que incluye controles y efectos fijos de centro médico, tiempo y estación y la columna 4 es una especificación completa donde no se toma el promedio diario sino el valor máximo del material particulado. De las columnas 1 – 4 se puede inferir que la correlación es robusta a la inclusión de controles y de efectos fijos. La columna 3 muestra que ante un aumento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el promedio diario de la medición de PM 2.5, los registros de los centros médicos de niños 1 – 5 años por enfermedades respiratorias por cada 100.000 habitantes aumentan en promedio aproximadamente 0.0434. Esto significa un aumento de 0.12% en el promedio de las asistencias diarias (el promedio diario de registros médicos de niños 1 – 5 años por enfermedades respiratorias agudas es 6.87). Este resultado es acorde con la literatura donde Dominici et al (2006), encuentran que ante un aumento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM 2.5, había un aumento de 1.28% de riesgo en admisiones hospitalarias por fallas cardíacas en el mismo día y también encontraban un aumento más pequeño pero significativo para las infecciones del tracto respiratorio y enfermedad pulmonar obstructiva crónica.

Tabla 2

**Efecto del material particulado sobre la asistencia de niños de 1 - 5 años a centros medicos por enfermedades respiratorias agudas**

	Tasa de registros medicos por enfermedades agudas por cada 100 mil habitantes							
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
PM 2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.0392*** (0.0143)	0.0430** (0.0217)	0.0434** (0.0218)					
Max PM 2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )				0.0261*** (0.0091)				
PM 10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )					0.0281*** (0.0076)	0.0306*** (0.0099)	0.0310*** (0.0100)	
Max PM 10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )								0.0128*** (0.0035)
Precipitación (mm)		0.0276** (0.0125)	0.0277** (0.0125)	0.0279** (0.0112)		0.0023*** (0.0009)	0.0024*** (0.0009)	0.0030*** (0.0009)
Velocidad del Viento (m/s)		0.0100 (0.2470)	0.0180 (0.2466)	0.0529 (0.2116)		-0.0262 (0.0222)	-0.0260 (0.0224)	-0.0345* (0.0198)
Observaciones	349,803	310,868	310,868	326,281	374,426	336,248	336,248	343,406
R-cuadrado	0.0013	0.0013	0.5944	0.5929	0.0004	0.0005	0.5938	0.5924
Prom. Var. Dep.	6.8714	6.8714	6.8714	6.8714	6.8714	6.8714	6.8714	6.8714
Día EF	NO	NO	SI	SI	NO	NO	SI	SI
Centro Médico EF	NO	NO	SI	SI	NO	NO	SI	SI
Estación EF	NO	NO	SI	SI	NO	NO	SI	SI

Errores estandar agrupados por centro médico reportados en parentesis.

\*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$

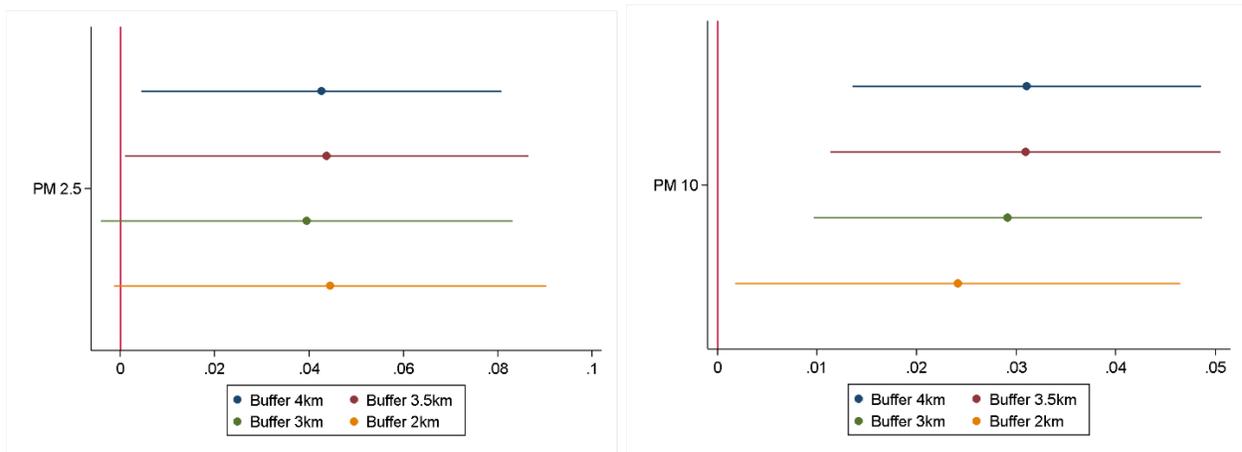
En las columnas 5 – 8, también se puede observar que existe una correlación para PM10. La columna 7 muestra que ante un aumento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el promedio diario de la medición de PM 10, los registros de los centros médicos de niños 1 – 5 años por enfermedades respiratorias por cada 100.000 habitantes, aumentan en promedio aproximadamente 0.0310. Esto significa un aumento de 0.07% en el promedio de las asistencias diarias (el promedio diario de registros médicos de niños 1 – 5 años por enfermedades respiratorias agudas es 6.8714).

El segmento de población de 1-5 años es de los más vulnerables según los hallazgos que se han encontrado en la literatura a lo largo del tiempo. Sin embargo, vale la pena extender el análisis a los otros grupos de edad. En el anexo, las tablas 5 y 6 reflejan los resultados para los otros grupos de edad, para concentraciones de PM2.5 Y PM10, respectivamente, con todos los controles y efectos fijos, sin incluir la variable de máximos diarios de concentraciones. En las tablas, el resultado es igual de robusto y consistente con lo ya encontrado en el anterior análisis para todos los grupos de edad. Las magnitudes de las correlaciones varían, pero en el grupo de 1 a 5 años es mayor que en todos los grupos de edad, ninguno le supera. Esto es consistente con lo encontrado en Pope y Dockery (2006), donde

encuentran que, en diferentes estudios, las poblaciones más afectadas a exposiciones de corto plazo son las personas con enfermedades crónicas cardiopulmonares, influenza, y asma, especialmente las personas muy adultas o los niños son los que tienen más posibilidad de ser susceptibles.

La estrategia de identificación de por sí genera una preocupación, la arbitrariedad de elección del tamaño del buffer (3.5 km) alrededor de los centroides de las estaciones de medición puede estar liderando los resultados. En la figura 3 se puede observar el coeficiente de la columna 3 para diferentes tamaños de buffer y la figura 4 para diferentes buffers de la columna 7 de la Tabla 2. En ambos gráficos se puede observar que la correlación es bastante robusta a la selección del tamaño de los buffers. Al reducir el tamaño, se pierde un buen número de muestra lo que hace que pierda significancia el modelo a buffers más pequeños.

Ilustración 6 – Coeficiente diferentes buffers



### 5.1. Rezagos

Una preocupación adicional que puede surgir sobre la estrategia de identificación es que la correlación que existe entre el material particulado y el estado de salud no es inmediato y el resultado se puede presentar unos días posteriores a la exposición. Es decir, según los resultados, la exposición  $t - 8$  a altos niveles de PM 2.5 debería aumentar los registros médicos el día  $t$ . En las ilustraciones 7 y 8, se permite observar los coeficientes para los diferentes rezagos hasta el día 8 y su significancia, bajo la especificación con todos los controles y efectos fijos centro médico y estación y un efecto fijo de día de la semana que permite controlar por los patrones de estacionalidad (se compara el primer lunes del año 2016 contra el primer lunes del año 2017, y así sucesivamente para el resto del año). Para el caso de PM 2,5 en la ilustración 7 se puede observar que no existe ninguna correlación dentro de los

resultados, ya que incluir el nuevo efecto fijo está anulando los efectos. En PM 10, en la ilustración 8 observamos que el tercero, quinto y sexto rezago son significativos, esto puede deberse a que el PM10 se comporta de manera distinta al PM2.5 y los efectos de sus concentraciones pueden tener relación con contaminaciones en días anteriores.

Ilustración 7- Coeficientes Rezagos pm2.5

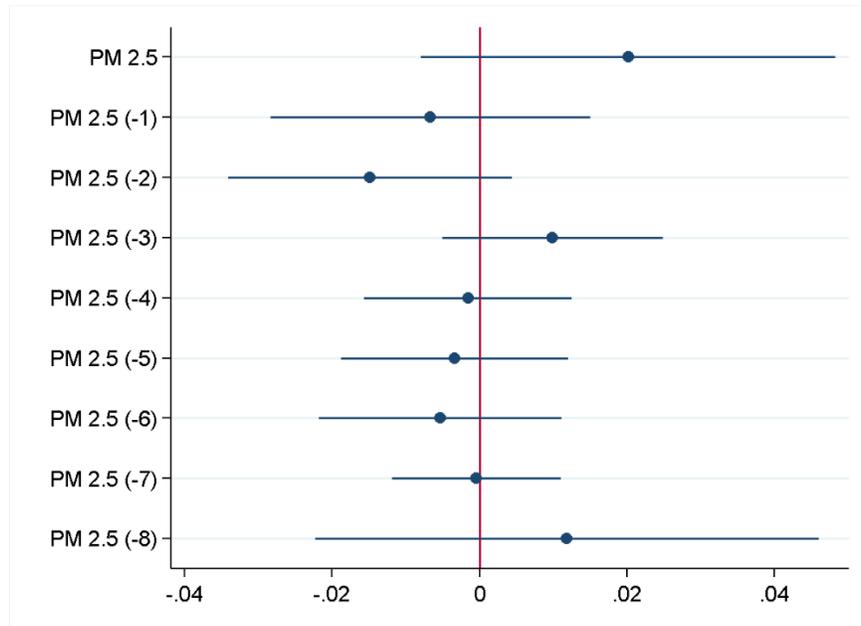
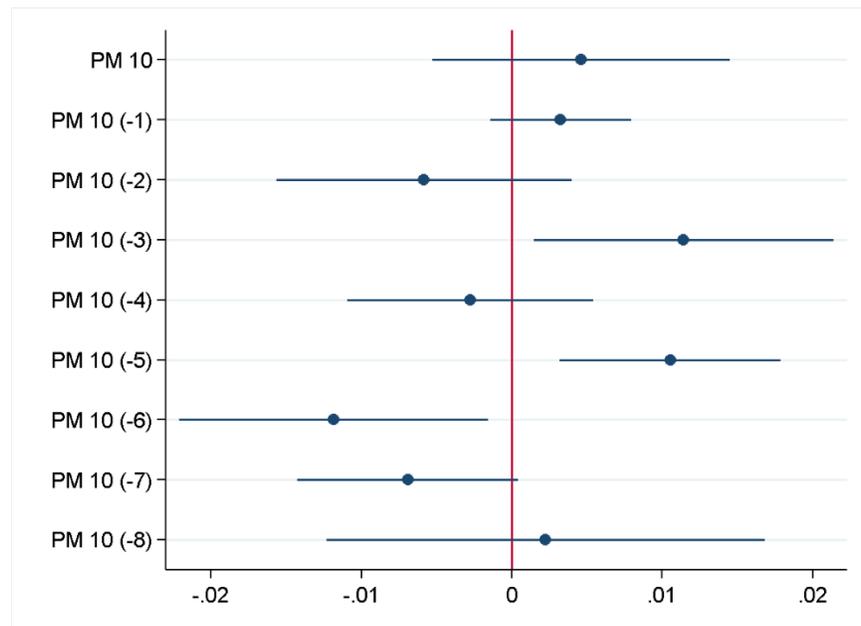


Ilustración 8 - Coeficientes Rezagos pm10



## 5.2. Resultados a nivel semana

Una manera adicional de explorar los resultados es agregando los datos a nivel de semana. En la tabla 3, se presentan los resultados. La variable dependiente es la suma de los registros semanales de niños de 1 – 5 años con enfermedades respiratorias agudas en el centro médico. Para el material particulado se toma el promedio semanal de los promedios diarios y el promedio de los máximos diarios reportados en la semana. Se puede observar que no hay ninguna correlación de PM 2.5 ni de PM 10 sobre los registros. Probablemente esto se explique debido a la variabilidad que hay dentro de las semanas y que se puede estar diluyendo la correlación de unos días altos con otros días de menor concentración de emisiones. Para ello, en la tabla 4 de los Anexos se presentan los resultados desagregados para días entre semana y fines de semana. Observamos de la columna 1-8 que la no significancia se mantiene, es decir, no estamos observando una anulación de correlaciones.

Tabla 3

**Efecto del material particulado sobre la asistencia de niños de 1 - 5 años a centros medicos por efermedades respiratorias agudas**

	Suma tasa de registros medicos por enfermedades agudas por cada 100 mil habitantes			
	(1)	(2)	(3)	(4)
PM 2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	-0.1195 (0.1473)			
Max PM 2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		-0.0914 (0.0960)		
PM 10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			-0.0166 (0.0454)	
Max PM 10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )				-0.0089 (0.0236)
Precipitación ( <i>mm</i> )	2.7866 (2.5118)	2.8626 (2.5728)	2.5904 (2.1545)	2.6441 (2.2878)
Velocidad del Viento ( <i>m/s</i> )	28.2247 (17.8382)	27.1267 (16.5806)	26.3363* (15.9089)	25.6024* (14.4884)
Observaciones	28,847	28,847	28,847	28,847
R-cuadrado	0.8003	0.8004	0.8002	0.8002
Prom. Var. Dep.	96.4641	96.4641	96.4641	96.4641
Semana EF	SI	SI	SI	SI
Centro Médico EF	SI	SI	SI	SI
Estación EF	SI	SI	SI	SI

Errores estandar agrupados por centro médico reportados en parentesis.

\*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$

Adicionalmente en la tabla 8 de los anexos, se encuentran los resultados del análisis para observar la relación de las concentraciones de PM sobre las asistencias a los centros médicos del grupo de 1-5

años, en vez de utilizar el efecto fijo de día calendario, se incluyen efectos fijos de día de la semana y efecto fijo de la semana del año. Para este análisis no se encuentran resultados significativos.

## 6. Recomendaciones de política pública

Dado los resultados encontrados anteriormente, incentivo profundamente al cumplimiento de las políticas públicas que actualmente están en vigencia en el país, considero importante la implementación completa de un sistema de transporte es fundamental para disminuir los incentivos negativos en el uso del automóvil como medio de transporte principal en los hogares, esto de la mano de una eliminación completa de los buses provisionales y la conclusión de la chatarrización de los vehículos viejos, además de la búsqueda para que la flota de transporte público sea una flota sostenible y amigable con el ambiente, para que se siga cumpliendo con la disminución de emisiones por parte de todos los sectores que hacen parte de las fuentes móviles.

Aunque actualmente el gobierno enfoca sus políticas de medio ambiente en cómo reducir las emisiones directamente desde la fuente, aun no hay políticas enfocadas en cómo disminuir las exposiciones de contaminación, es decir, no hay políticas enfocadas en lo que pueden hacer los individuos para responder ante altos niveles de exposición a la contaminación del aire.

Teniendo en cuenta que la población de 1-5 años, es la que puede verse mayormente afectada, debido a sus vulnerabilidades en temas de salud, es afectada en mayores cantidades, si sus lugares de estudio están cerca de una vía de alta circulación, ya que pasan la mayor parte del día en colegios o jardines y esta es una fuente significativa de contaminación. Ya he resaltado que el PM 2.5 puede llegar a infiltrarse en espacios interiores, por esto, en diferentes lugares del mundo se han empezado a implementar políticas públicas enfocadas en mantener puro el aire interior de estos lugares donde los niños pasan la mayor parte del tiempo.

¿Cómo lograrlo? En Colombia, la práctica de ventilación de los salones de clase es mayormente pasiva, es decir, mediante ventanas y puertas que se abren y se cierran para controlar la ventilación. Se recomienda difundir información a los profesores y trabajadores de los colegios sobre los efectos y riesgos que tiene respirar un aire contaminado y las mejores prácticas de ventilación como son: mantener las ventanas y puertas cerradas durante las horas pico de emisiones o, para aquellos lugares que tienen una ventilación mecánica, mantener las puertas y ventanas cerradas, para evitar la entrada

del aire contaminado en mayor cantidad. Adicional a esto, se recomienda la instalación de filtros de aire interior que mantienen el aire libre de contaminantes en espacios interiores que no tienen una ventilación mecánica y no necesitan de ella para su funcionamiento. (EPA, 2015)

La importancia de la creación de una red de pronóstico de la calidad del aire es fundamental para poder realizar acciones enfocadas en prevenir exposiciones altas de aire contaminado, entre ellas, la realización de todas las campañas para que los ciudadanos estén enterados del efecto dañino que puede tener las exposiciones a altos niveles de contaminación sobre todo en los grupos vulnerables. Estas campañas deben informar sobre 4 puntos importantes (Laumbach, Meng, & Kipen, 2015):

1. Importancia de hacer ejercicio en horas con bajos niveles de contaminación: Al realizar ejercicio el sistema respiratorio se vuelve mas vulnerable debido a inhalaciones mas profundas y de mayores cantidades de aire, por esto se recomienda hacer ejercicio en horas con menores niveles de concentración, esto determinado por predicciones de niveles de calidad del aire, o informaciones publicas locales sobre las horas y días en los que se han encontrado altos niveles de contaminación.
2. Equipo Protector Personal: En algunos lugares del mundo con altos niveles de contaminación es normal ver a personas utilizando mascararas para reducir sus niveles de exposición. Cuando se hace uso de las caretas filtrantes adecuadas pueden reducir el nivel de contaminación respirado por el individuo, sobre todo cuando tiene que exponerse a altos niveles de contaminación
3. Reducción de exposición al tráfico: Reducir la exposición a contaminantes evitando las actividades físicas cerca de vías con altos niveles de trafico o cerca a fuentes de combustión. Eligiendo diferentes rutas para actividades como caminar, correr, andar en bicicleta en horas pico. Para esto, también es importante informar sobre las áreas mas contaminadas de la ciudad.
4. Saber qué grupos son los más susceptibles: Además de saber cuándo y dónde están presentes los mayores niveles de contaminación, es importante que los grupos vulnerables sepan que lo son para que puedan realizar acciones preventivas. Si bien, los niños, los adultos mayores y mujeres embarazadas son los grupos mas vulnerables, los individuos con enfermedades respiratorias, cardiovasculares, asma y diabetes, tienen un riesgo de exacerbación en las enfermedades ya presentes.

Adicionalmente, propongo la implementación de una red de mensajes de texto que permita avisarle a los ciudadanos (inicialmente a los padres de los niños en edades vulnerables) alertas sobre los niveles de contaminación y puedan tomar medidas preventivas sobre sus hijos, como el uso de tapabocas. En ciudades como Sídney demuestran que cuando la alerta de contaminación se emite, disminuyen los niveles de personas que hacen ciclismo durante el día entre un 14% y un 15% (Soodeh Sabería, 2017). Esto acompañado de campañas de concientización de la gravedad que tienen las exposiciones a los niveles altos de concentraciones de contaminantes sobre las poblaciones más vulnerables para que a la hora de la implementación del programa de mensajes, se tomen medidas adecuadas para reducir los efectos sobre la población más vulnerable.

## 7. Anexos

Tabla 4

**Efecto del material particulado sobre la asistencia de niños de 1 - 5 años a centros medicos por enfermedades respiratorias agudas**

	Suma de asistencias por enfermedades respiratorias agudas							
	Entre semana				Fin de semana			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
PM 2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.0031 (0.0055)				0.0023 (0.0037)			
Max PM 2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		0.0013 (0.0031)				0.0001 (0.0019)		
PM 10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			0.0026 (0.0030)				0.0018 (0.0016)	
Max PM 10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )				0.0013 (0.0015)				0.0004 (0.0008)
Precipitación (mm)	0.0734 (0.0789)	0.0734 (0.0793)	0.0912 (0.0698)	0.0828 (0.0697)	0.0063 (0.0160)	0.0063 (0.0150)	0.0064 (0.0158)	0.0069 (0.0157)
Velocidad del Viento (m/s)	1.9167** (0.7450)	1.9548** (0.7531)	1.9642** (0.7462)	2.0746** (0.7979)	0.0957 (0.1094)	0.0934 (0.1131)	0.0953 (0.1082)	0.0961 (0.1107)
Observaciones	28,847	28,847	28,847	28,847	28,847	28,847	28,847	28,847
R-cuadrado	0.7897	0.7896	0.7897	0.7897	0.7592	0.7592	0.7593	0.7592
Prom. Var. Dep.	10.1498	10.1498	10.1498	10.1498	10.1498	10.1498	10.1498	10.1498
Día EF	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Centro Médico EF	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Estación EF	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Errores estandar agrupados por estación reportados en parentesis.

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

Tabla 5

**Efecto del material particulado sobre la asistencia de diferentes grupos de edad a centros medicos por enfermedades respiratorias agudas**

	Asistencia por enfermedades respiratorias agudas por grupos de edad							
	1 - 5	5 - 9	10 - 14	15 - 18	19 - 26	27 - 44	45 - 59	≥ 60
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
PM 2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.0061** (0.0026)	0.0023** (0.0008)	0.0004 (0.0006)	0.0012*** (0.0004)	0.0033*** (0.0009)	0.0073*** (0.0014)	0.0039*** (0.0009)	0.0026* (0.0012)
Precipitación (mm)	0.0022 (0.0018)	0.0004 (0.0004)	0.0004 (0.0004)	0.0001 (0.0002)	0.0003 (0.0005)	-0.0003 (0.0008)	-0.0005 (0.0006)	-0.0000 (0.0010)
Velocidad del Viento (m/s)	-0.0282 (0.0303)	-0.0141 (0.0120)	0.0161*** (0.0045)	0.0027 (0.0076)	-0.0294 (0.0187)	-0.0429 (0.0359)	-0.0203 (0.0149)	-0.0320** (0.0139)
Observaciones	310,868	254,684	249,948	233,384	244,029	259,356	243,199	238,768
R-cuadrado	0.5503	0.5330	0.4632	0.3563	0.6072	0.5771	0.4614	0.2407
Prom. Var. Dep.	0.7234	0.3316	0.2023	0.1362	0.4621	0.7968	0.4413	0.3284
Día EF	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Centro Médico EF	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Estación EF	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Errores estandar agrupados por estación reportados en parentesis.

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

Tabla 6

**Efecto del material particulado sobre la asistencia de diferentes grupos de edad a centros medicos por enfermedades respiratorias agudas**

	Asistencia por enfermedades respiratorias agudas							
	1 - 5	5 - 9	10 - 14	15 - 18	19 - 26	27 - 44	45 - 59	≥ 60
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
PM 10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.0039** (0.0014)	0.0018*** (0.0004)	0.0005 (0.0003)	0.0009*** (0.0002)	0.0027*** (0.0005)	0.0053*** (0.0008)	0.0028*** (0.0005)	0.0018** (0.0007)
Precipitación (mm)	0.0024 (0.0014)	0.0007 (0.0004)	0.0008* (0.0003)	0.0002 (0.0002)	0.0005 (0.0004)	0.0003 (0.0008)	-0.0002 (0.0005)	0.0000 (0.0008)
Velocidad del Viento (m/s)	-0.0258 (0.0260)	-0.0057 (0.0096)	0.0191*** (0.0058)	0.0045 (0.0063)	-0.0179 (0.0128)	-0.0234 (0.0259)	-0.0156 (0.0122)	-0.0350* (0.0180)
Observaciones	336,248	273,808	269,525	251,735	263,155	281,011	261,220	256,809
R-cuadrado	0.5519	0.5332	0.4680	0.3555	0.6036	0.5757	0.4580	0.2342
Prom. Var. Dep.	0.7234	0.3316	0.2023	0.1362	0.4621	0.7968	0.4413	0.3284
Día EF	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Centro Médico EF	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Estación EF	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Errores estandar agrupados por estación reportados en parentesis.

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

Tabla 7

**Efecto del material particulado sobre la asistencia de niños de 1 - 5 años a centros medicos por enfermedades respiratorias agudas**

	Tasa de registros medicos por enfermedades agudas por cada 100 mil habitantes	
	PM 2.5	PM 10
PM X ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.0202 (0.0143)	0.0046 (0.0050)
PM X (-1) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	-0.0067 (0.0110)	0.0033 (0.0024)
PM X (-2) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	-0.0148 (0.0098)	-0.0058 (0.0050)
PM X (-3) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.0099 (0.0076)	0.0114** (0.0051)
PM X (-4) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	-0.0016 (0.0072)	-0.0028 (0.0042)
PM X (-5) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	-0.0033 (0.0078)	0.0105*** (0.0037)
PM X (-6) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	-0.0053 (0.0084)	-0.0118** (0.0052)
PM X (-7) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	-0.0004 (0.0058)	-0.0069* (0.0037)
PM X (-8) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.0119 (0.0174)	0.0023 (0.0074)
Precipitación (mm)	0.0077 (0.0110)	-0.0126 (0.0133)
Velocidad del Viento (m/s)	0.9418** (0.4364)	0.6087** (0.3046)
Observaciones	239,282	279,376
R-cuadrado	0.5985	0.5986
Prom. Var. Dep.	6.8714	6.8714
Día EF	SI	SI
Centro Médico EF	SI	SI
Estación EF	SI	SI

Errores estandar agrupados por centro médico reportados en parentesis. \*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$

Tabla 8

**Efecto del material particulado sobre la asistencia de niños de 1 - 5 años a centros medicos por enfermedades respiratorias agudas**

	Asistencia por enfermedades respiratorias agudas	
	(1)	(2)
PM 2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.0029 (0.0029)	
PM 10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		0.0012 (0.0015)
Precipitación ( $\text{mm}$ )	-0.0017 (0.0020)	-0.0011 (0.0016)
Velocidad del Viento ( $\text{m}/\text{s}$ )	0.0456 (0.0402)	0.0339 (0.0338)
Observaciones	310,868	336,248
R-cuadrado	0.5568	0.5582
Prom. Var. Dep.	0.5573	0.5573
Día de la semana EF	SI	SI
Semana EF	SI	SI
Centro Médico EF	SI	SI
Estación EF	SI	SI

Errores estandar agrupados por estación reportados en parentesis

\*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$

## 8. Bibliografía

- Behrentz, E., Cancino, J., & Gaitán, M. (2007). Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá . *Revista de ingeniería. Universidad de los Andes.*
- Brauer, M., Hoek, G., Vliet, P., Meliefste, K., Fisher, P., & Gehring, U. (2002). Estimating Long-Term Average Particulate Air Pollution Concentrations: Application of Traffic Indicators and Geographic Information Systems.
- Burnett, R., Brook, J., Dann, T., Philips, O., Delocla, C., Vincent, R., . . . Krewski, D. (2000). Association Between Particulate and Gas-Phase Components of Urban Air Pollution and Daily Mortality in Eight Canadian Cities. *Inhalation Toxicology*, 15-39.
- Clark, N., Demers, P., Karr, C., Koehoorn, M., Lencar, C., Tamburic, L., & Brauer, M. (2010). Effect of Early Life Exposure to Air Pollution on Development of Childhood Asthma. *Environmental Health Perspectives.*
- CONPES - CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL. (2018). *POLÍTICA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE* . Bogota.
- Diaz Camargo, E. J. (2017). El “Pico y Placa” en Bogotá: ¿peor el remedio que la enfermedad? *Revista Con-texto*, 141-175.
- DNP. (2018). *Evaluación de resultados de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire*. Bogota: Departamento Nacional de Planeación. Obtenido de Departamento Nacional de Planeación.
- Dominici, F., Peng, R. D., Bell, M. L., & al, e. (2006). Hospital Admission for Cardiovascular and Respiratory Diseases. *American Medical Association*, 1127-1134.
- El Tiempo. (11 de Marzo de 2020). Qué tanto ayuda el pico y placa en la descontaminación del aire. *El Tiempo*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/bogota/que-tanto-ayuda-el-pico-y-placa-en-la-descontaminacion-del-aire-470002>
- EPA. (2015). *U.S Environmental Protection Agency*. Obtenido de Best Practices for Reducing Near-Road Pollution Exposure at Schools: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/ochp\\_2015\\_near\\_road\\_pollution\\_booklet\\_v16\\_508.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/ochp_2015_near_road_pollution_booklet_v16_508.pdf)
- EPA. (2019). *United States Environmental Protection Agency*. Obtenido de Particulate Matter (PM) Basics: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>

- EPA Environmental Protection Agency. (September de 2003). *Particle Pollution and Your Health*.  
Obtenido de EPA Web site :  
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockkey=P1001EX6.txt>
- EPA Environmental Protection Agency. (2018). *Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM)*. Obtenido de EPA Web site: <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm>
- Evans, R., Webb, K., Homan, S., & Ayres, S. (1988). Cross sectional and longitudinal changes in pulmonary function associated with automobile pollution among bridge and tunnel officers. *Am J Ind Med*, 25-36.
- Gamble, J., Jones, W., & Minshall, S. (1987). Epidemiological-environmental study of diesel bus garage workers: acute effects of NO<sub>2</sub> and respirable particulate on the respiratory system. *Environ Res*, 201-214.
- Garces, C. F. (2017). Impact Evaluation on Health: Three Case. *Dissertation in Candidacy for the Degree of Doctor of Philosophy in Economics*, 48-74.
- Gehring, U., Wijga, A., Brauer, M., Fischer, P., de Jongste, J., Kerkhof, M., . . . Brunekreef, B. (2010). Traffic-related Air Pollution and the Development of Asthma and Allergies during the First 8 Years of Life. *AMERICAN JOURNAL OF RESPIRATORY AND CRITICAL CARE MEDICINE*, 596-603.
- Hong, T.-C., Lee, J.-T., Kim, H., Ha, E.-H., Swchartz, J., & Christiani, D. (2002). Effects of Air Pollutants on Acute Stroke Mortality. *Environment Health Perspect.*, 187-191.
- Instituto Nacional de Salud. (2019). *Informe Carga de Enfermedad Ambiental en Colombia*. Bogota: INS.
- IQAir-AirVisual. (2018). *2018 World Air Quality Report*. IQAir. Obtenido de <https://www.iqair.com/world-most-polluted-countries>
- Ishizaki, T., Koizumi, K., Ikemori, R., Ishiyama, Y., & Kushibiki, E. (1987). Studies of prevalence of Japanese cedar pollinosis among the residents in a densely cultivated area. *Ann Alergy*, 265-270.
- Kan, H., Jia, J., & Chen, B. (2003). Acute Stroke Mortality and Air Pollution: New Evidence from Shanghai, China. *J. Occup. Health*, 321-323.

- Klemm, R., & Mason, R. (2003). Reaplication of Reanalysis of Harvard Six-City Mortality Study. *Revised Analyses of Time-Series of Air Pollution and Health. Special Report*, 165-172.
- Ko, F., Tam, W., Wong, T., Lai, C., Wong, G., Leung, T.-F., . . . Hu, D. (2007). Effects of air pollution on asthma hospitalization rates in different age groups in Hong Kong. *Clinical and Experimental Allergy*, 1312-1319.
- Laden, F., Neas, L. M., Dockery, D. W., & Schwartz, J. (2000). Association of Fine Particulate Matter from Different Sources with Daily Mortality in Six U.S Cities. *Environmental Health Perspectives*, 941-947.
- Laumbach, R., Meng, Q., & Kipen, H. (2015). What can individuals do to reduce personal health risks from air pollution? *Journal of Thoracic Disease*, 96-107.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (6 de Abril de 2010). *Alcaldia Bogota*. Obtenido de Normas:  
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=39330&dt=S>
- Murakami, M., Ono, M., & Tamura, K. (1990). Health problems of residents along heavy traffic roads. *JHum Ergol*, 101-106.
- OMS. (2 de Mayo de 2018). *Notas Descriptivas: Calidad del aire y salud*. Obtenido de Organizacion Mundial de la Salud: <https://www.who.int/es/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>
- Ostro, B., Broadwin, R., Green, S., Feng, W.-Y., & Lipsett, M. (2006). Fine Particulate Air Pollution and Mortality in Nine California Counties: Results from CALFINE. *Environment Health Perspect.*, 29-33.
- Pope, C. A., & Dockery, D. W. (2006). Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. *Journal of Air & Waste Management Association*, 709-742.
- Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá-RMCAB. (2016). *Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá*. Obtenido de Informes Anuales:  
<http://rmcab.ambientebogota.gov.co/Pagesfiles/IA%20Informe%20Anual%202016%20RMCAB.pdf>

- Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogota-RMCAB. (2017). *Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogota*. Obtenido de Informes Anuales:  
[http://201.245.192.252:81/Pagesfiles/180601\\_Informe%20Anual%202017\\_V6.pdf](http://201.245.192.252:81/Pagesfiles/180601_Informe%20Anual%202017_V6.pdf)
- Schwartz, J. (2000). Assessing Confounding, Effect Modification, and Thresholds in the Association between Ambient Particles and Daily Deaths. *Environmental Health Perspectives*, 563-568.
- Secretaria Distrital de Ambiente. (2010). *ambientebogota.gov.co*. Obtenido de  
<http://ambientebogota.gov.co/red-de-calidad-del-aire>
- Secretaria Distrital de Ambiente. (s.f.). *Características generales de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá y parámetros medidos en cada una de ellas a 2013*. Obtenido de Secretaria Distrital de Ambiente: <http://ambientebogota.gov.co/web/sda/estaciones-rmcab>
- Secretaria Distrital de Planeacion. (2017). *SDP*. Obtenido de Encuesta Multiproposito:  
<http://www.sdp.gov.co/gestion-estudios-estrategicos/estudios-macro/encuesta-multiproposito/encuesta-multiproposito-2017>
- Semana. (22 de Marzo de 2019). *Mala calidad del aire y del agua mata más 17.000 personas al año en Colombia*. Obtenido de Semana Sostenible: <https://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/mala-calidad-del-aire-y-del-agua-mata-a-mas-17000-personas-al-ano-en-colombia/43414>
- Soodeh Saberina, A. H. (2017). Alerts work! Air quality warnings and cycling. *ELSEVIER*, 165-185.
- Speizer, F., & Ferris, B. (1973). Exposure to automobile exhaust. I. Prevalence of respiratory symptoms and disease. H. Pulmonary function measurements. *Arch Environ Health*, 313-324.
- Sun, Z., An, X., Tao, Y., & Hou, Q. (2013). Assessment of population exposure to PM10 for respiratory disease in Lanzhou(China) and its health-related economic costs based on GIS. *BMC Public Health*.
- Tsai, S.-S., Goggins, W., Chiu, H.-F., & Yang, C.-Y. (2003). Evidence for and Association between Air Pollution and Daily Stroke Admissions in Kaohsiung, Taiwan. . *Stroke*, 2612.
- Wjst, M., Reitmeir, P., Dold, S., Wulff, A., Nicolai, T., Freifrau, E., & Mutius, E. (1993). Road traffic and adverse effects on respiratory health in children. *BMJ*, 595-560.
- Yokoyama, Y., Nitta, H., Maeda, K., & Aoki, S. (1985). What interaction does indoor nitrogen dioxide have on the effect of the automobile exhaust? *Tokai Y Exp Clin Med*, 379-384.

Zutavern, A., Cyrys, J., Brockow, I., Gehring, U., Koletzko, S., Bauer, C., & Reinhardt, D. (2006).  
Respiratory health and individual estimated exposure to traffic-related air pollutants in a  
cohort of young children.