

VALOR ECONÓMICO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA LOCALIDAD DE KENNEDY MEDIDO DESDE LA SALUD DE LOS HABITANTES

Juan Sebastián Hernández Herrera¹

22 de mayo, 2017

Universidad de Los Andes

RESUMEN

En los últimos años el nivel de contaminación del aire en Bogotá ha generado preocupación para sus habitantes y su salud, particularmente en Kennedy, la localidad más contaminada de Bogotá. Esta investigación desarrolla un modelo dosis-respuesta para medir el impacto del material particulado (PM_{10}) sobre los casos respiratorios en la localidad de Kennedy durante el periodo 2012-2015. Luego, esta investigación relaciona este impacto con los costos directos asociados a la morbilidad, con el fin de otorgar una perspectiva de valoración económica sobre la situación ambiental en Kennedy. Al relacionar el impacto de la calidad del aire con los costos directos asociados, se encuentra que la reducción en 10% de PM_{10} hubiese ahorrado aproximadamente 4 millones USD destinados a la atención médica en el 2015.

Palabras Clave: Contaminación atmosférica, función dosis-respuesta, PM_{10} , NO_2 , O_3 , Casos respiratorios, Casos Cardiovasculares, Bogotá, Kennedy

Clasificación JEL: Q51, Q53, Q58

¹ Juan Sebastián Hernández Herrera. Correo: js.hernandez119@uniandes.edu.co, Código: 201226324

INTRODUCCIÓN

La problemática de la calidad del aire en grandes ciudades ha sido un importante objeto de estudio en el área de economía ambiental y economía de la salud. En particular, el desarrollo de actividad industrial y tráfico vehicular en conjunto con el crecimiento de la población genera consecuencias sobre la calidad del ambiente, las cuales han demostrado ser un factor de riesgo en la salud respiratoria y cardiovascular de los individuos. Estudios epidemiológicos han encontrado una relación significativa entre la contaminación del aire y el cáncer de pulmón, las muertes prematuras, las enfermedades respiratorias y cardiovasculares (World Health Organization, 2005). Debido a que la mayoría de las fuentes de contaminación no están bajo el control directo de los habitantes, depende del cuerpo administrativo de las ciudades crear políticas que puedan mitigar esta problemática, y este tendrá que incurrir en un análisis costo beneficio al momento de tomar decisiones. El objetivo de esta investigación es estimar los costos relacionados a la contaminación atmosférica en la localidad de Kennedy, para así dar un mayor contexto sobre la situación de calidad del aire y el costo económico que una atmósfera contaminada tiene sobre los habitantes.

En cuestiones de políticas públicas para la mitigación de la contaminación atmosférica, la valoración económica de la calidad del aire permite enlazar la problemática en salud con un análisis beneficio costo al momento de ejecutar proyectos. Los hacedores de política se enfrentan a decisiones que implican un *trade-off* entre desarrollo e infraestructura y calidad del aire, y por tanto tienen que incurrir en un análisis beneficio costo para la ejecución de sus decisiones. Así, la presente investigación, junto con la literatura relevante, es importante al aportar un mayor contexto sobre los costos de la calidad ambiental para entender y generar políticas de mitigación.

La localidad de Kennedy, ubicada al sur occidente de Bogotá, se caracteriza por poseer una gran cantidad de flujo vehicular y una población de tamaño significativo. El tráfico vehicular mixto, junto con las actividades industriales liberan una gran cantidad de agentes contaminantes a la atmósfera, los cuales afectan a los más de un millón de habitantes en la zona, haciéndola la localidad con mayor índice de contaminación en Bogotá.

Adicional a lo anterior, se escoge realizar el estudio en la localidad de Kennedy debido a la forma en que se presenta la información de morbilidad en Bogotá. Dentro del SISPRO

(Sistema de Información del Ministerio de Salud y Protección Social), los casos y admisiones hospitalarias se registran por Institución Prestadora de Salud. Como se puede observar en la Figura 1, las IPS no están uniformemente distribuidas en la ciudad de Bogotá, existe una mayor concentración cerca a los cerros orientales, mientras que en las localidades marginales existe una menor concentración. Por tanto, se puede asumir que los casos que no requieran equipos médicos especializados (como los casos respiratorios y cardiovasculares) registrados en la localidad de Kennedy tienen una alta probabilidad proceder de la misma localidad.

En cambio, si se considera analizar una localidad más central, como es el caso de Teusaquillo, el supuesto de que los casos atendidos en Teusaquillo provienen de esa localidad no se cumple, dado que los casos atendidos en el año equivalen a 1.7 veces la población en ese año, lo que implica que las IPS están recibiendo casos de diferentes procedencias y por tanto no se analiza solamente esa población. Los anteriores argumentos, junto con los altos niveles de contaminación, hacen que esta localidad sea el foco del estudio.

Se utilizó una función “dosis-respuesta” como metodología para la valoración de los costos de la calidad del aire debido a que permite medir el impacto de la contaminación atmosférica sobre los casos respiratorios y cardiovasculares, consistente con la literatura a la fecha. Luego, se incorporó información sobre los costos directos asociados a la prevención, tratamiento y consulta de estas enfermedades con el impacto de la calidad del aire.

Este documento se organiza de la siguiente manera. Primero, se realiza una revisión de la literatura relevante que abarca las metodologías y aproximaciones existentes frente a la valoración económica de la calidad del aire. Se exploran los estudios realizados a nivel país y a nivel ciudad junto con los principales resultados obtenidos y los mayores retos al momento de estimar. Segundo, se presenta el marco teórico utilizado en la investigación, donde se explica la teoría, supuestos, y limitaciones del estudio. Tercero, a partir de la revisión de literatura, se presenta una descripción de los datos utilizados y la estrategia

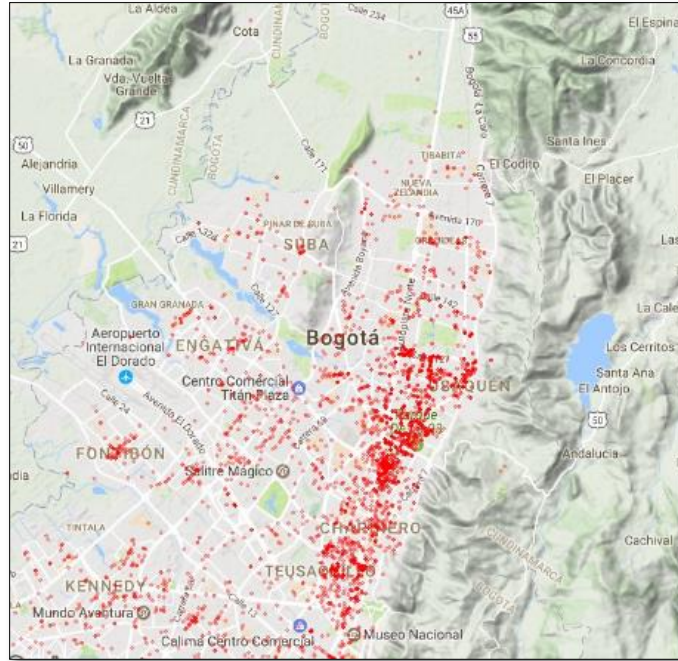


Figura 1: Geocodificación de sedes de IPS en Bogotá

empírica, la función dosis-respuesta. Además, se hace un breve recuento de la contaminación del aire en Bogotá. En un cuarto momento se presentan los resultados del modelo econométrico y finalmente se establecen las conclusiones de esta investigación, limitaciones y posible análisis futuro.

REVISIÓN DE LITERATURA

Dentro de las metodologías comúnmente utilizadas para la valoración económica de la calidad del aire se encuentra la función dosis-respuesta, la cual mide el impacto sobre la salud de diferentes niveles de exposición (o dosis) de un estresor químico particular, que en este caso son los principales contaminantes encontrados en la atmósfera.

Lozano (2004), Anaman et al (2003), Zuidema et al (1996), Yaduma et al (2013), y Deng (2006) utilizan esta metodología para relacionar una variable relacionada con la salud (normalmente casos o admisiones hospitalarias por problemas respiratorios) con niveles de contaminación atmosférica en diferentes países. Esta aproximación mediante funciones dosis-respuesta y funciones de daño permite definir el efecto sobre la morbilidad de los habitantes, para luego asignar costos directos asociados a la prevención y tratamiento o costos

indirectos asociados a las pérdidas en productividad y actividad económica (Anaman & Ibrahim, 2003)

Como variable de respuesta en salud, la mayoría de los autores que han realizado estudios ecológicos involucran una variable relacionada con casos o admisiones respiratorias en hospitales o centros de atención en salud. Lozano (2004) utiliza admisiones respiratorias en los hospitales de Bogotá. Esta investigación contará con casos respiratorios registrados por cada Instituto Prestador de Salud en Bogotá.

De acuerdo a las limitaciones de información, el objetivo de cada estudio, y el enfoque de cada autor, la valoración económica de la calidad del aire difiere en metodología y resultados, los cuales se analizarán seguidamente para ver su relevancia en este estudio. En el caso de Países Bajos, la aproximación de Zuidema et al (1996) se basa en una función dosis respuesta que relaciona los días perdidos de trabajo con el nivel de contaminación atmosférica. Esta estimación la realiza mediante una aproximación por mínimos cuadrados ordinarios y por efectos fijos, con el fin de comparar el supuesto de que la función dosis respuesta posee la misma especificación y comportamiento independiente de la zona.

Dada la pobre regulación en políticas que mitiguen los efectos de la contaminación en la salud, los países en vía de desarrollo son un objeto de estudio interesante. Yaduma et al (2013) estudian los costos de la mortalidad relacionada a contaminación en el país de Nigeria utilizando una aproximación mediante una función dosis respuesta y el valor estadístico de una vida. Aunque los autores reconocen que el estudio se limita por la disponibilidad de información, encuentran que las implementaciones de políticas alineadas con la OMS hubiesen prevenido 58.000 muertes prematuras y ahorrado 19% del PIB en el 2006 (Yaduma, Karotlainen, & Wossink, 2013). A pesar de que la aproximación realizada en la presente investigación trata sobre temas de mortalidad y no morbilidad, el estudio de Yaduma et al (2013) permite dar un mayor contexto sobre la importancia e impacto de la reducción en la contaminación.

Dentro de los estudios realizados a nivel nacional se destaca la investigación llevada a cabo por Lozano (2004). En este estudio se desarrolla un modelo concentración respuesta para relacionar las admisiones por casos respiratorios con tres de los contaminantes más importantes en Bogotá (PM_{10} , NO_2 y O_3) durante 1998. Encuentra una relación positiva entre

los contaminantes con las admisiones hospitalarias y realiza un desglose por edad. Establece el marco teórico para una evaluación de los costos de esta problemática, sin embargo, se ve limitada por la disponibilidad de información. Al igual que Lozano, se espera encontrar una relación positiva y significativa entre la contaminación y las admisiones por casos respiratorios.

Al tener en cuenta la relación entre contaminantes y morbilidad/mortalidad hace falta realizar la valoración económica mediante costos directos e indirectos. Los costos directos a corto plazo se entienden como aquellos costos incurridos por prevención o tratamiento de la enfermedad. La información proveniente del Ministerio de Salud y Protección Social captura una mínima parte de estos costos mediante la cuota moderadora y los copagos. Dentro de las definiciones que maneja el ministerio, se define la cuota moderadora como *“el aporte en dinero que debe ser pagado por todos los afiliados del régimen contributivo cuando asisten a una cita médica, reciben medicamentos, o al tomarse exámenes de laboratorio...”* (MinSalud, 2016). Por otro lado, el copago es un pago proporcional al valor de los servicios de ayudas diagnósticas o procedimientos quirúrgicos recibidos que deben realizar los beneficiarios en régimen contributivo y afiliados del régimen subsidiado.

En adición a los anteriores costos asumidos por los afiliados al sistema (en caso de pertenecer al régimen contributivo), la atención, prevención y tratamiento de una enfermedad respiratoria representa una variedad de costos al sistema de salud. Estos costos varían de acuerdo a diferentes factores, dentro de los cuales está la edad del paciente, la enfermedad y su severidad, y los servicios médicos requeridos. Estimar estos costos requiere de información detallada sobre cada admisión, sin embargo, muchos autores realizan una aproximación de los costos utilizando información sobre los servicios asociados a la atención de un caso promedio.

En países donde no hay información detallada sobre los costos directos, se realiza una aproximación mediante la metodología de transferencia de beneficios. Yaduma et al (2013) y Deng (2006) analizan el impacto de la contaminación atmosférica sobre la salud, medido desde la mortalidad. Este cambio de morbilidad a mortalidad permite utilizar el valor estadístico de una vida para valorar los costos directos asociados con la contaminación

MARCO TEÓRICO

Las preguntas principales que este documento procura responder son: ¿Cuál es el impacto de la contaminación del aire en las admisiones por casos respiratorios en la localidad de Kennedy? ¿Cómo se puede valorar este impacto desde una perspectiva económica? ¿Cuál es el valor económico de la calidad del aire en Kennedy? A continuación, se plantea el marco mediante el cual se analiza el problema y el conjunto de variables puede tener relevancia al momento de preparar la estrategia empírica.

Dentro de la literatura relevante, la mayoría de los estudios de valoración económica de la calidad del aire reportan una relación positiva y significativa entre el nivel de diversos contaminantes y diversos indicadores de morbilidad y mortalidad. Sin embargo, existen grandes discrepancias entre el impacto reportado como también el impacto de otras variables estudiadas (Yaduma, Karotelainen, & Wossink, 2013).

Por ejemplo, Anaman et al (2003) utilizan un índice de calidad del aire y sus rezagos en el tiempo. Lozano (2004), Zuidema et al (2006) y Yaduma et al (2013) utilizan el desagregado de los contaminantes, material particulado, dióxidos de sulfato y ozono, etc. y controlan por factores socioeconómicos de la población. Lozano (2004) y Yaduma et al (2013) también utilizan variables meteorológicas, con el propósito de analizar el efecto de la lluvia y temperatura en las admisiones respiratorias.

Sin embargo, el análisis de las estadísticas descriptivas sugiere incluir un componente temporal dentro del análisis. Como se puede observar en la Figura 2, el número promedio de casos varía dependiendo del día dentro de la semana. Específicamente, la información muestra que en los días no laborales (sábados, domingos y festivos) existe una menor magnitud de admisiones respiratorias. Además de esto, la Figura 3 muestra evidencia de un componente estacional dentro de la serie. En particular, se observa un mayor número de admisiones respiratorias en los meses de Abril – Mayo y Octubre – Noviembre.

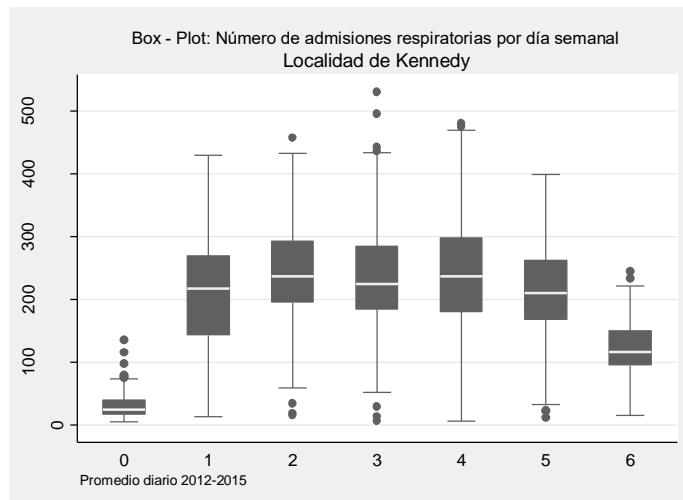


Figura 2: Número de admisiones respiratorias por día semanal. Localidad de Kennedy

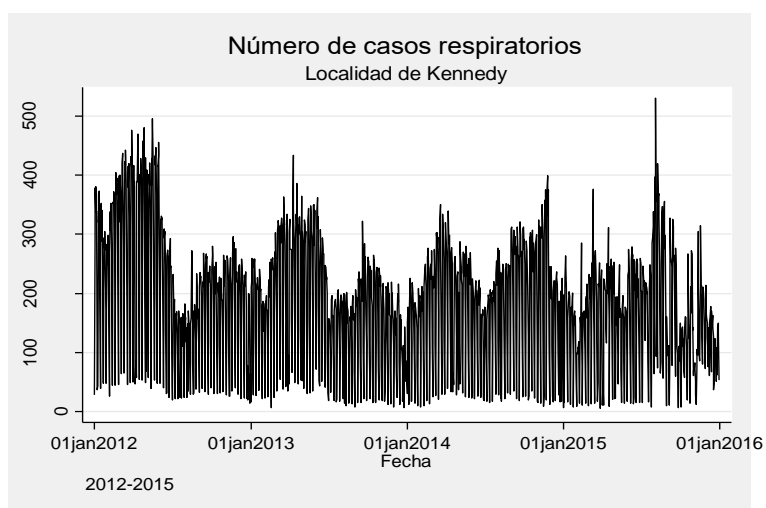


Figura 3: Número de casos respiratorios en Kennedy

En este sentido, se puede decir que las admisiones por casos respiratorios no dependen exclusivamente de la contaminación del aire por material particulado, sino que también existen diversos factores como el día semanal, el nivel de pluviosidad, la temperatura y otros factores como edad y tipo de vinculación, entre otros. A continuación, se presenta el marco empírico, el cual hace uso de esta información en la elaboración de dos funciones estadísticas.

MARCO EMPÍRICO

Descripción de Datos

Este estudio cuenta con dos principales fuentes de información, las cuales contienen información de morbilidad y costos asociados con la calidad del aire en Bogotá. Por un lado, la base de datos de SISPRO cuenta información recolectada por el Ministerio de Salud y Protección Social. Esta base de datos cuenta con información de admisiones por casos respiratorios y cardiovasculares como también los costos relacionados con la atención. Para medir la incidencia de la contaminación en la morbilidad, se utiliza el total de casos respiratorios por día en la localidad de Kennedy. Debido a que la información se encuentra a nivel de cada punto de atención en salud, y que cada punto tiene una dirección registrada en Bogotá, la información sobre casos respiratorios y casos cardiovasculares se sometió a un proceso de geo-referenciación para enlazarla con la información geográfica de los puntos de monitoreo de calidad de aire (Figura 1).

Por otro lado, la información de calidad del aire proviene de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá (RMCAB). Este organismo recoge información sobre la calidad y composición de la atmósfera en diferentes puntos de monitoreo en la ciudad junto con variables meteorológicas como pluviosidad y temperatura. La información de la RMCAB es recolectada cada hora. Este documento cuenta con información diaria de la situación de calidad del aire en las estaciones de Kennedy y Carvajal durante el periodo de investigación (1 enero de 2012 – 31 diciembre de 2015).

La información geo-referenciada de SISPRO se unificó con la información recolectada por la RMCAB con el fin de crear un conjunto de datos que relacionara indicadores de morbilidad (casos respiratorios y cardiovasculares) con la concentración de los principales contaminantes en la ciudad. Esta consolidación permite realizar una aproximación dosis-respuesta con el fin de medir el impacto de la calidad del aire sobre la salud, para luego relacionarla con los costos asociados al tratamiento y medir el valor económico.

Se utilizó un enfoque ecológico similar a Lozano (2004), Deng (2006), Yaduma et al (2013). Por tanto y en línea con el marco empírico, se asume el número de casos respiratorios (CR) en la ciudad de Kennedy como función de la concentración de los principales contaminantes

presentes en el aire, factores meteorológicos, como la lluvia y temperatura, y factores estacionales, como mes, día laboral o fin de semana.

Cuadro 1: Estadísticas descriptivas de las principales variables

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Casos Respiratorios Kennedy	1462	184.47	106.47	5.00	531.00
PM ₁₀ Promedio Kennedy-Carvajal	1367	76.73	21.58	29.74	202.39
Lluvia	1462	0.09	0.16	0.00	1.53
Temperatura	1462	14.26	0.72	11.59	16.34
Log Casos Respiratorios Kennedy	1462	4.93	0.93	1.61	6.27
Log PM ₁₀ promedio	1367	4.30	0.29	3.39	5.31
Valor promedio Cuota 2012	1462	\$ 1,854	29.22	\$ 95.65	\$ 5,527.94
Valor promedio Cuota 2013	1462	\$ 1,622	30.38	\$ -	\$ 3,588.78
Valor promedio Cuota 2014	1462	\$ 1,983	39.71	\$ -	\$ 3,948.27
Valor promedio Cuota 2015	1462	\$ 1,834	59.81	\$ -	\$ 8,482.04

Los costos asociados a la atención de casos respiratorios están divididos en dos partes. Por un lado, los individuos tratados que estén bajo el régimen contributivo tendrán que aportar una cuota moderadora para hacer uso de los servicios del Plan Obligatorio de Salud. Por otro lado, existen los costos relacionados al diagnóstico, manejo ambulatorio, hospitalización, cirugía, entre otros, en los que incurre el sistema de salud al atender un caso respiratorio. Por tanto, el costo directo de la atención de un caso respiratorio es el conjunto del valor aportado por el paciente y los costos de utilización de recursos del sistema de salud. El Cuadro 1 muestra los valores promedio de la cuota moderadora durante el periodo de estudio. Al momento de analizar estos resultados, hay que tener en cuenta que cierta parte de los individuos pertenece al régimen subsidiado y por tanto no aportan cuota moderadora, disminuyendo el promedio diario del valor de esta.

Altas concentraciones de material particulado pueden llevar al empeoramiento de condiciones existentes o el diagnóstico de nuevas enfermedades. En particular, la Organización Mundial de la Salud (2013), describe que altas concentraciones de material particulado pueden llevar y agravar la manifestación de enfermedades como: Enfermedad Crónica Obstructiva Pulmonar (EPOC), asma y cáncer de pulmón, entre otras.

Al tomar como caso base de una admisión respiratoria el trabajo realizado por Pérez et al (2007), los costos directos asumidos por el prestador se dividen en diagnóstico, manejo ambulatorio, cirugía, unidad de cuidados intensivos (UCI) y hospitalización. Tomando como

referencia Pérez et al (2007), se asume que, del total de casos, 80% son de carácter leve (requieren de diagnóstico y manejo ambulatorio), 10% son Moderados (requieren de diagnóstico y cirugía) y 10% son graves (requieren todos los servicios mencionados). Teniendo lo anterior en cuenta y ponderando por las frecuencias relativas de la gravedad del caso, los costos asociados al tratamiento de EPOC son en promedio \$4.240,5 USD a lo largo de 5 años². El costo unitario promedio anual es de \$969,48 USD³.

El anterior estimado está en línea con lo establecido por otros autores. En el Cuadro 2 se compara el estimado de Pérez et al (2007) con los estimados de otros autores.

Autor(es)	País	Año	Metodología	USD (año base 2015)
Pérez et al (2007)	Colombia	2007	Costos directos	\$ 969.48
Lozano (2004)	Bogotá, Colombia	1995	Disposición a pagar	\$ 830.00
Friedman et al (2001)	Estados Unidos	2001	Costos directos	\$ 1,313.00
Dalal et al (2010)	Estados Unidos	2008	Costos directos	\$ 1,004.00

Cuadro 2: Costos promedios anuales por atención respiratoria

Estrategia Empírica

En congruencia con la literatura relacionada, el análisis del impacto de la calidad del aire sobre la salud suele utilizar la función estadística denominada “dosis-respuesta”. Esta función considera el efecto que tiene incrementar o disminuir una dosis de contaminantes sobre las admisiones hospitalarias durante cierto periodo. Esta estrategia considera las siguientes formas funcionales:

$$\ln(CR) = f(RAIN, TEMP, SEASON, POLLUTANTS, X) \quad (1)$$

$$CR = f(RAIN, TEMP, SEASON, POLLUTANTS, X) \quad (2)$$

En donde $\ln(CR)$ es el logaritmo natural de los casos respiratorios diarios en Kennedy, CR es el número de casos respiratorios diarios en Kennedy, $RAIN$ es el nivel promedio de lluvia

² En línea con lo establecido por Pérez et al (2007), un caso de EPOC moderado incluye el manejo por urgencias de una exacerbación y un caso de EPOC grave incluye el manejo por urgencias de tres exacerbaciones cada año.

³ Año base 2015. Equivalentes a \$848,1 USD de 2007

diario en Bogotá, *TEMP* es la temperatura promedio diaria en Bogotá, *SEASON* es un vector de variables explicativas relacionadas con la estacionalidad, y *POLLUTANTS* es un vector del nivel promedio diario de los principales contaminantes monitoreados en Kennedy y *X* es un vector de variables de control pertenecientes a la población seleccionada.

En línea con el marco teórico, el anterior modelo supone que el número de admisiones respiratorias es una función de la calidad ambiental y factores meteorológicos, variables temporales como día semanal, año y mes, y variables socioeconómicas como proporciones de edad, género y tipo de vinculación al sistema de salud.

Ahora bien, proceder con la estimación de la anterior especificación mediante Mínimos Cuadrados Ordinarios puede llevar a que los términos de error estén correlacionados en el tiempo⁴, esto debido a que la frecuencia de los casos respiratorios y admisiones hospitalarias es diaria. Al no garantizar el cumplimiento de este supuesto, no se puede garantizar que los estimadores sean MELI⁵.

Por estos motivos, es fundamental establecer una metodología que corrija los errores estándar de los estimadores. Por un lado, se puede estimar la forma funcional utilizando clusters, lo cual permite corregir las varianzas/errores estándares bajo autocorrelación. Por otro lado, se puede utilizar la metodología propuesta por K. Whitney Newey y Kenneth D. West (1987) para corregir estos efectos. Con el fin de analizar los resultados de las diferentes metodologías de corrección, se estiman las especificaciones utilizando MCO, Regresión por clusters y Regresión por Newey-West. En ambos casos, el número de rezagos sugerido por el autocorrelograma⁶ corresponde a 42 (6 semanas).

⁴ $E(u_s, u_p) \neq 0$

⁵ Mejores Estimadores Lineales Insesgados

⁶ *Figura 4: Autocorrelograma LOG-LOG, MCO*

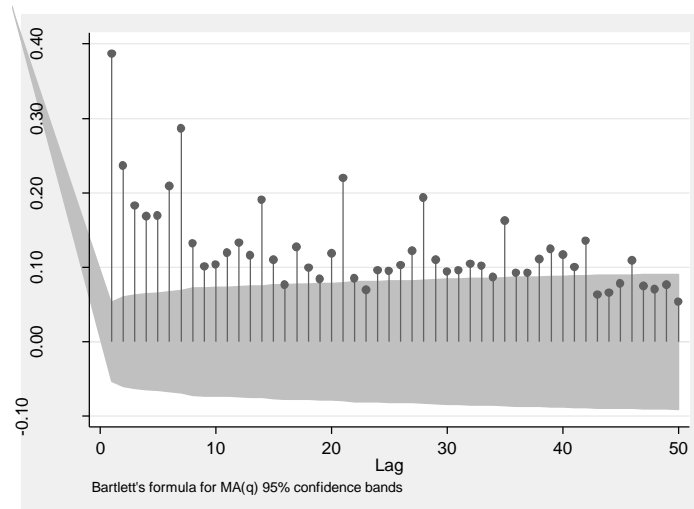


Figura 4: Autocorrelograma LOG-LOG, MCO

RESULTADOS DEL ANÁLISIS ECONOMÉTRICO

En esta sección se presentan los resultados de las especificaciones Log-Log y Lin-Log estimadas por MCO, Regresión por clusters y Regresión por Newey-West para establecer el impacto de la contaminación del aire sobre los casos respiratorios en la localidad de Kennedy.

Se aplicó la prueba de MWD de MacKinnon, White y Davidson (Gujarati, 2004) con el fin de seleccionar la mejor especificación. En base a los resultados y análisis de la prueba, se escogió la forma funcional Log-Log en preferencia a Lin-Log para medir el impacto de la contaminación sobre los casos respiratorios.

En primer lugar y como era de esperar, en todas las especificaciones el material particulado tiene una relación positiva y significativa con el número de admisiones respiratorias en Kennedy. Los modelos 1,2, y 3 muestran que, en promedio, un incremento de 10 puntos porcentuales en el nivel de material particulado de Kennedy y Carvajal lleva a un incremento de 5.92 puntos porcentuales en las admisiones respiratorias en la localidad de Kennedy. Es decir, considerando que el nivel promedio de PM_{10} en el periodo 2012-2015 es de $76.72 \frac{\mu g}{m^3}$, un incremento en $7.6 \frac{\mu g}{m^3}$ estará asociado con aproximadamente 10.92 casos respiratorios adicionales. En un principio, esta cifra puede no ser alarmante, pero al considerar que los

Modelo	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Variable	Ln (casos respiratorios)	Ln (casos respiratorios)	Ln (casos respiratorios)	Casos Respiratorios	Casos Respiratorios	Casos Respiratorios
Método	MCO	Cluster	Newey - West	MCO	Cluster	Newey - West
Ln(PM ₁₀)	0.592*** (0.0610)	0.592*** (0.124)	0.592*** (0.0735)	56.54*** (7.756)	56.54*** (13.50)	56.54*** (10.47)
Lluvia	0.304** (0.0930)	0.304*** (0.0842)	0.304** (0.0943)	34.60** (11.82)	34.60** (11.78)	34.60* (14.55)
Temperatura	0.0706** (0.0232)	0.0706** (0.0217)	0.0706** (0.0262)	5.902* (2.954)	5.902* (2.225)	5.902 (3.577)
Febrero	-0.00496 (0.0713)	-0.00496 (0.0620)	-0.00496 (0.0904)	7.580 (9.063)	7.580 (6.229)	7.580 (16.15)
Marzo	0.232*** (0.0701)	0.232** (0.0679)	0.232* (0.0999)	51.92*** (8.912)	51.92*** (8.059)	51.92** (16.74)
Abril	0.287*** (0.0709)	0.287** (0.0814)	0.287** (0.0999)	56.65*** (9.012)	56.65*** (10.30)	56.65** (17.76)
Mayo	0.222** (0.0695)	0.222** (0.0691)	0.222 (0.122)	43.93*** (8.832)	43.93*** (8.135)	43.93 (23.05)
Junio	0.200** (0.0705)	0.200** (0.0711)	0.200* (0.101)	23.88** (8.956)	23.88** (7.879)	23.88 (15.64)
Julio	0.0375 (0.0727)	0.0375 (0.0638)	0.0375 (0.126)	-11.13 (9.243)	-11.13 (5.990)	-11.13 (23.05)
Agosto	0.215** (0.0745)	0.215** (0.0759)	0.215 (0.198)	30.24** (9.474)	30.24** (9.916)	30.24 (31.89)
Septiembre	0.0855 (0.0728)	0.0855 (0.0655)	0.0855 (0.0861)	7.575 (9.257)	7.575 (7.270)	7.575 (14.82)
Octubre	0.00438 (0.0695)	0.00438 (0.0538)	0.00438 (0.103)	-2.013 (8.838)	-2.013 (5.667)	-2.013 (17.79)
Noviembre	-0.0587 (0.0699)	-0.0587 (0.0852)	-0.0587 (0.103)	-2.110 (8.883)	-2.110 (9.331)	-2.110 (20.38)
Diciembre	-0.211** (0.0689)	-0.211* (0.0817)	-0.211* (0.0939)	-38.51*** (8.763)	-38.51*** (8.073)	-38.51*** (10.92)
Año 2013	-0.293*** (0.0407)	-0.293*** (0.0290)	-0.293*** (0.0822)	-50.15*** (5.177)	-50.15*** (4.514)	-50.15*** (15.00)
Año 2014	-0.301*** (0.0424)	-0.301*** (0.0360)	-0.301*** (0.0877)	-48.13*** (5.386)	-48.13*** (4.475)	-48.13** (18.48)
Año 2015	-0.405*** (0.0417)	-0.405*** (0.0362)	-0.405*** (0.0967)	-68.71*** (5.305)	-68.71*** (6.016)	-68.71*** (17.59)
Lunes	1.699*** (0.0554)	1.699*** (0.0631)	1.699*** (0.0885)	162.1*** (7.036)	162.1*** (8.275)	162.1*** (9.669)
Martes	1.965*** (0.0585)	1.965*** (0.0576)	1.965*** (0.0829)	191.6*** (7.438)	191.6*** (6.664)	191.6*** (10.48)
Miércoles	1.910*** (0.0589)	1.910*** (0.0601)	1.910*** (0.0808)	184.5*** (7.492)	184.5*** (7.382)	184.5*** (10.61)
Jueves	1.911*** (0.0587)	1.911*** (0.0571)	1.911*** (0.0877)	188.2*** (7.466)	188.2*** (6.053)	188.2*** (11.22)
Viernes	1.819*** (0.0589)	1.819*** (0.0619)	1.819*** (0.0871)	163.4*** (7.483)	163.4*** (6.432)	163.4*** (9.504)
Sábado	1.338*** (0.0570)	1.338*** (0.0513)	1.338*** (0.0724)	75.71*** (7.250)	75.71*** (4.777)	75.71*** (5.468)
Constante	-0.00174 (0.400)	-0.00174 (0.648)	-0.00174 (0.424)	-254.9*** (50.89)	-254.9*** (70.95)	-254.9*** (61.00)
N	1367	1367	1367	1367	1367	1367
adj. R-sq	0.673	0.673	N/A	0.603	0.603	N/A

Errores estándar en paréntesis

* p<0.05 ** p<0.01 *** p<0.001

Cuadro 3: Modelo (1): Especificación (1) por MCO, Modelo (2): Especificación (1) por clusters, Modelo (3) Especificación (1) por Newey – West, Modelo (4): Especificación (2) por MCO, Modelo (4): Especificación (2) por clusters, Modelo (5): Especificación (2) por Newey – West.

niveles de PM_{10} pueden llegar a $200 \frac{\mu g}{m^3}$ (un incremento del 162%) puede llegar a representar un problema significativo.

Entre los otros factores determinantes de las admisiones respiratorias en Kennedy están los factores meteorológicos como la lluvia y la temperatura promedio. Las estimaciones muestran que, en promedio, al incrementar en una unidad (cm) el nivel de pluviosidad, hay un incremento en 30.4% en los casos respiratorios. Numerosos estudios han encontrado una relación entre los niveles de lluvia y humedad con el esparcimiento o empeoramiento de enfermedades respiratorias.

Asimismo, se encuentra evidencia estadística del componente estacional de las enfermedades respiratorias en Kennedy. Por un lado, el número de casos respiratorios entre semana es significativamente mayor que en fines de semana. Específicamente, los resultados demuestran que, tomando como caso base el domingo, los lunes hay un incremento en 170% en los casos respiratorios. El Instituto Canadiense de Información de la Salud (2014) argumenta que esto puede tener justificación en las preferencias de tiempo de cada individuo, limitaciones de recursos destinados al servicio médico, y la decisión de posponer la visita en caso de no ser urgente (Raspin, Bassi, & Woolmore, 2016). Por otro lado, los resultados confirman el efecto de estacionalidad a lo largo del año. En particular, en el mes de abril hay un incremento de 28% en los casos respiratorios cuando se compara con enero.

En conclusión, los resultados confirman la hipótesis de una relación positiva y significativa entre el nivel de contaminación y el número de casos respiratorios en la localidad de Kennedy. Este resultado es consistente con las hipótesis planteadas en la introducción y motivación como también con la revisión de literatura relevante. Adicionalmente, se encuentra evidencia de la incidencia de factores meteorológicos, como la lluvia y la temperatura en los casos respiratorios.

Estimación de costos

Como se discutió, el costo promedio unitario anual de una admisión respiratoria es aproximadamente \$969.48 USD considerando una ponderación por la gravedad de la

⁷ Nivel máximo registrado en Kennedy y Carvajal durante 2012-2015.

admisión. Los resultados indican que, si el nivel promedio de material particulado incrementa en 10 puntos porcentuales, el número de casos respiratorios incrementará en aproximadamente 6 puntos porcentuales. Con el fin de medir la magnitud económica de la calidad del aire, se considera un promedio de 184.47 casos respiratorios al día y un nivel promedio de PM_{10} de $76.73 \frac{\mu g}{m^3}$. Un incremento de $7.6 \frac{\mu g}{m^3}$ llevaría a aproximadamente 10.92 casos adicionales diarios que se pueden atribuir a la contaminación. Al año, esto podría representar un total de 3.986 casos adicionales cuya atención costará al sistema \$3.864.374,19 USD. De manera similar, una política del aire encaminada a la reducción en 10% del material particulado podría ahorrar la misma magnitud al sistema.

CONCLUSIONES

El suroccidente de Bogotá se caracteriza por poseer importantes vías vehiculares como también grandes áreas industriales. Sin embargo, el desarrollo de estos dos elementos ha convertido este sector, y particularmente la localidad de Kennedy, uno de los más contaminados en la ciudad y en Latinoamérica. La comisión europea de medioambiente no recomienda una exposición de PM_{10} superior a $50 \frac{\mu g}{m^3}$ por periodos superiores a 24 horas. Sin embargo, datos de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá demuestran un nivel promedio de $77 \frac{\mu g}{m^3}$ en el periodo 2012-2015, lo cual se traduce en la manifestación o empeoramiento de enfermedades respiratorias como asma, EPOC, cáncer de pulmón, etc. Incluso, en el 2015 se registran 52 días cuyo nivel promedio de material particulado supera las 100 micras.

El incremento de las admisiones respiratorias tiene su consecuencia en el sistema de salud y el distrito. Tomando como referencia el trabajo de Pérez et al (2007), los costos unitarios de una enfermedad respiratoria como EPOC ascienden, en promedio, a \$969 USD anuales. Al tener una mayor visibilidad del impacto económico de las admisiones respiratorias asociadas a la contaminación, los hacedores de política pueden incorporar esta información y efectuar un *trade-off* entre políticas de regulación del aire y mejorar la situación en salud.

En este trabajo se optó por estimar el impacto de la contaminación del aire, específicamente el material particulado menor a 10 micras, sobre la morbilidad (casos respiratorios). Se

estimaron diferentes formas de la función dosis respuesta para cuantificar el impacto de la contaminación durante el periodo 2012-2015. Los resultados obtenidos confirman el impacto de la calidad del aire sobre la salud; la especificación log-log indica que por un incremento en 10% en niveles de PM_{10} existe un incremento en 6% de admisiones respiratorias.

Numerosos estudios sobre la valoración de la calidad del aire han utilizado diferentes metodologías para estimar los costos asociados a los efectos de la contaminación. Por un lado, varios autores utilizan valores de la disposición a pagar por mejoras en la calidad del aire, ajustados mediante una metodología de transferencia de beneficios. Por otro lado, otros autores realizan una estimación de los costos directos asociados al tratamiento de los casos. Este trabajo se encuentra dentro del último grupo de estudios, y utiliza los costos de los diferentes servicios médicos utilizados para el tratamiento de una enfermedad respiratoria, ponderados por su gravedad. Al utilizar ese análisis se obtiene que el costo unitario promedio de \$969 USD y se encuentra que un incremento del 10% en la contaminación promedio en 2015 habría sido causante de 3.986 casos respiratorios, lo cual se habría traducido en 4 millones de dólares adicionales destinados a la atención de enfermedades respiratorias.

Por tanto, esta investigación realiza una aproximación al valor económico de la calidad del aire con el fin de brindar un marco de referencia sobre el cual se pueden construir o mejorar políticas encaminadas a reducir la contaminación del aire. Regulaciones sobre las emisiones industriales o tráfico similares a las de Dinamarca y Finlandia tienen el potencial de reducir significativamente el número de casos respiratorios y ahorrar una suma significativa al sistema de salud.

Finalmente, es importante considerar las limitaciones de este estudio. Por un lado, puede existir un sesgo de selección, por el hecho de que la investigación está analizando únicamente los casos respiratorios reportados en el sistema de salud. Por otro lado, este estudio está subestimando los costos reales al considerar únicamente los costos directos. Una adaptación de esta investigación podría incluir los costos sociales e indirectos relacionados a la interrupción de actividades productivas. Adicionalmente, estudios adicionales podrían contar con información sobre la precedencia de las admisiones respiratorias para así considerar el efecto de la calidad ambiental en otras localidades, con el fin de comparar el efecto relativo de la contaminación. Los resultados de esta investigación confirman la importancia de los

costos incurridos en salud causados por la contaminación del aire y su relevancia dentro del diseño de políticas.

REFERENCIAS

- Anaman, K., & Ibrahim, N. (2003). Statistical Estimation of Dose-response Functions of Respiratory Diseases and Societal Costs of Haze-related Air Pollution in Brunei Darussalam. *Pure and Applied Geophysics*, 279-293.
- Canadian Institute for Health Information. (2014). *Weekend Admissions and In-Hospital Mortality*.
- Dalal, A. (2010). Direct costs of chronic obstructive pulmonary disease among managed care patients. *International Journal CHron Obstruct Pulmon Disease*, 341-349.
- Deng, & Xin. (2006). Economic costs of motor vehicle emissions in China: A case study. *Transportation Research Part D*, 210-226.
- Friedman. (2001). Economic burden of chronic obstructive pulmonary disease. Impact of new treatment options. *Pharmacoeconomics*.
- Gujarati, D. (2004). *Basic Econometrics*. The McGraw - Hill Companies.
- Lozano, N. (2004). Air Pollution in Bogotá, Colombia: A concentration response approach. *Desarrollo y Sostenibilidad*.
- MinSalud. (7 de Enero de 2016). *Ajuste de cuotas moderadoras y copagos para 2016*. Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Ajuste-de-cuotas-moderadoras-y-copagos-para-2016.aspx>
- MinSalud. (5 de Marzo de 2017). *Ajuste de cuotas moderadoras y copagos para el 2016*. Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Ajuste-de-cuotas-moderadoras-y-copagos-para-2016.aspx>
- Pérez, N., Murillo, R., Pinzón, C., & Hernández, G. (2007). Costos de la Atención Médica del Cáncer de Pulmón, la EPOC y el IAM atribuibles al consumo de tabaco en Colombia. *Revista Colombia Cancerol*.
- Pervin, T., Gerdtham, U., & Hampus Lyttkens, C. (2008). Societal costs of air pollution-related health hazards: A review of methods and results. *Cost effectiveness and Resource allocation* , 6-19.
- Raspin, C., Bassi, S., & Woolmore, A. (2016). *CHKS Health Insight report. Weekend emergency admissions - an unmet need*. CHKS.
- World Health Organization. (2013). *Health Effects of Particulate Matter*.
- World Health Organization. (2005). *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone and nitrogen dioxide*. Obtenido de Summary of risk assessment: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69477/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf
- Xu-Qin, J., Xiao-Dong, M., & Di, F. (2016). Air pollution and chronic airway diseases: what should people know and do? *Journal of Thoracic Disease*, 31-40.
- Yaduma, N., Karotelainen, M., & Wossink, A. (2013). Estimating Mortality and Economic Costs of Particulate Air Pollution in Developing Countries: The Case of Nigeria. *Environ Resource Econ*, 361-387.
- Zuidema, T., & Nentejes, A. (1996). Health damage of air pollution: an estimate of a dose-response relationship for the Netherlands. *Environmental and Resource Economics*, 291-308.