

Contaminación del aire y vulnerabilidad de individuos expuestos: un caso de estudio para el centro de Medellín

Air pollution and vulnerability of exposed individuals: the case of downtown Medellín

Carlos F. Gaviria G¹; Juan C. Muñoz M²; Gabriel J. González³.

¹ Magíster en Economía, Universidad Nacional de Colombia, magíster en Relaciones Internacionales, Universidad De Estocolmo, profesor e investigador, Departamento de economía, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. Correo electrónico: cfgaviria@udea.edu.co

² Magíster en Economía, Universidad De Los Andes, profesor e investigador, Universidad EAFIT. Medellín, Colombia. Correo electrónico: jmunozm1@eafit.edu.co

³ Economista, Universidad de Antioquia. elgabotb@gmail.com

Recibido: 3 de Noviembre 2011. Aprobado: 11 de Octubre 2012.

Gaviria CF, Muñoz JC, González GJ. Contaminación del Aire y vulnerabilidad de individuos expuestos: un caso de estudio para el centro de Medellín. Rev. Fac. Nac. Salud Pública 2012; 30(3): 316-327.

Resumen

La presencia de problemas respiratorios en zonas con alta contaminación se relaciona con factores como la exposición, la susceptibilidad y la capacidad de respuesta por parte de los individuos. **Objetivo:** presentar evidencia estadística de cómo la probabilidad de presentar un síntoma o enfermedad está relacionado con la exposición, la susceptibilidad y la respuesta social de individuos expuestos a la contaminación por material particulado. **Metodología:** se emplea información única de una encuesta a 1.000 individuos expuestos en el centro de Medellín para realizar un análisis descriptivo y modelos de respuesta

binaria PROBIT. Se analizaron 27 modelos para las siguientes variables dependientes: presenta un síntoma o enfermedad (EMF), presenta un síntoma (LEVE) y presenta una enfermedad (GRAVE). **Resultados:** se evidencia que la exposición es una variable clave en la presencia de problemas respiratorios (vulnerabilidad), pero que los individuos expuestos pueden presentar problemas en salud debido no solo a la contaminación per se, sino a condiciones personales y sociales implícitas.

-----**Palabras clave:** contaminación del aire (Q53), vulnerabilidad en salud (I10)

Abstract

The presence of respiratory problems in high level pollution areas is linked to factors such as exposure, susceptibility, and social coping. **Objective:** To present statistical evidence regarding the relationship between the probability of experiencing symptoms or contracting a respiratory disease and factors such as exposure to pollution, susceptibility, and social coping among people inhabiting areas with particulate matter pollution. **Methodology:** The study used unique information collected from a survey conducted on 1000 people in downtown Medellin who were exposed to this problem. This

information was used to perform a descriptive statistic analysis and to build 27 PROBIT models. The dependent variables were: the patient has a symptom or disease –EMF–, the patient has a symptom –LEVE–, and the patient has a respiratory disease –GRAVE–. **Results:** The results evidence that exposure is a key variable affecting the presence of respiratory symptoms or diseases (vulnerability); however, exposed individuals may also experience health problems not only due to air pollution per se, but also to implicit personal and social conditions.

-----**Key words:** air pollution (Q53), health vulnerability (I10)

Introducción

La presencia de problemas respiratorios en zonas contaminadas por material particulado está asociada con variables como la exposición, la susceptibilidad del individuo y la respuesta social (factores asociados a condiciones socioeconómicas que inciden en la forma como el individuo enfrenta problemas adversos) [1]. Entre esta gama de variables, la exposición es la principal fuente de vulnerabilidad.

La contaminación del aire se considera causante de múltiples enfermedades respiratorias y cardiovasculares [2-8]. Dentro de los diferentes contaminantes atmosféricos*, la Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que el material particulado (PM)[†] sobrepasa con mayor frecuencia los niveles críticos de concentración[‡], lo cual incide en la salud humana causando el deterioro de la salud pública en grandes ciudades [9-11]. Los efectos en la salud del PM van desde una simple tos hasta bronquitis e infecciones severas. Similarmente, se ha identificado la incidencia de la contaminación por material particulado en diferentes enfermedades cardiovasculares [12, 13] y diabetes [14, 15], así como en las tasas de morbilidad y mortalidad [16, 17]. La exposición es el principal argumento detrás de los problemas respiratorios, es decir, se identifica que lugares con altos niveles de contaminación atmosférica (sea por fuentes fijas o por fuentes móviles, o ambas) generan problemas en la salud humana.

El tiempo necesario o el volumen de exposición para manifestar un síntoma o enfermedad varía según factores sociales, de edad o económicos [18], y aunque se reconoce que la exposición prolongada al PM (y otros contaminantes) incide negativamente en la salud [19], no existe un consenso acerca del umbral de exposición que se requiere para ello [1]. Algunos autores reconocen mayor incidencia de problemas respiratorios en niños, adultos o en personas con nivel socioeconómico bajo [20]; no obstante, la contaminación afecta a los individuos de forma heterogénea y depende de diferentes circunstancias, como el tipo de contaminante, los grupos evaluados, la zona de estudio o el grado de exposición. Por ejemplo, en el caso de la edad, García y otros [23] examinan el efecto de la contaminación en individuos de bajos recursos a partir del número de admisiones hos-

pitalarias, por grupos de edad, donde encuentran mayor vulnerabilidad[§] en individuos entre los 15 y los 35 años. Por su parte, Halonen y otros [24], Namdeo y otros. [20] y Peled [18] hallan mayor vulnerabilidad en adultos mayores cuando están expuestos a contaminación por material particulado. De manera paralela, Neidell [25] y Medellín Como Vamos [26] evidencian mayor vulnerabilidad en niños que asisten a la escuela o bachillerato. Esto implica que la edad per se no es concluyente para determinar la vulnerabilidad de los individuos ante la contaminación del aire.

Para individuos con bajos ingresos, O'Neill y Jerrett [6] reportan una mayor vulnerabilidad al limitarse el acceso a tratamientos o al sistema de salud y, en consecuencia, tienen una menor posibilidad de respuesta a la contaminación. En otros casos, la variabilidad de la vulnerabilidad y los efectos son atribuibles al tipo de contaminante analizado y no a condiciones del individuo; sin embargo, es difícil controlar paralelamente los múltiples contaminantes y separar e identificar los efectos de cada contaminante por su alta correlación, debido a que muchos contaminantes se generan a través de la misma fuente [25].

El riesgo o severidad de los problemas de salud relacionados con la contaminación del aire no es uniforme entre poblaciones: hay grupos con mayor vulnerabilidad que otros. Para medir la vulnerabilidad ante la contaminación, deben considerarse efectos innatos al individuo como el ambiente adquirido, factores sociales o de comportamiento y, usualmente, altos niveles de exposición a la contaminación [22]. Makri y Stilianakis [1] elaboran un sumario de estudios sobre factores que afectan la vulnerabilidad frente a la contaminación por parte de los individuos, los cuales se dividen en: susceptibilidad (edad, enfermedades preexistentes, género, genética, raza y nutrición), exposición (prolongada en el lugar de trabajo o en la vivienda) y comportamiento social (asociada a factores socioeconómicos). Así, puede entenderse que la vulnerabilidad o el riesgo de enfermarse son producto de estas tres condiciones.

De este modo, este artículo busca medir cómo la exposición a la contaminación en una zona crítica como el centro de Medellín aumenta la probabilidad de causar problemas respiratorios en aquellos individuos que permanecen mayor tiempo en la zona. Además, se busca

* Los principales contaminantes atmosféricos se distinguen en dos tipos: primarios (SO₂, NO, CO, CO₂, entre otros) y secundarios (SO₃, NO₂, O₃, HNO₃, entre otros) [21]. El material particulado se compone de contaminantes primarios, secundarios, metales y componentes orgánicos e inorgánicos.

† Son partículas finas, sólidas o líquidas, cuyo tamaño se encuentran en un rango de 100 a 0,5 μ (micrones), compuestas por múltiples químicos que se albergan en los bronquiolos y provocan múltiples síntomas respiratorios [22].

‡ La OMS [22] para material particulado (pm) establece para PM_{2,5} (partículas menores a 2,5 micrones): 10 μg/m³ de media anual y 25 μg/m³ de media diaria; para PM₁₀ (partículas entre 2,5 y 10 micrones): 20 μg/m³ de media anual y 50 μg/m³ de media diaria. Ozono (O₃): 100 μg/m³ de media en 8 horas; dióxido de nitrógeno (NO₂): 40 μg/m³ de media anual y 200 μg/m³ de media en una hora. Dióxido de azufre (SO₂): 20 μg/m³ de media diaria y 500 μg/m³ de media en 10 min. La OMS establece que superar estos límites pone en riesgo la salud humana.

§ Vulnerabilidad se entiende como los factores de riesgo para la salud humana.

hacer la primera aproximación acerca de los gastos *evitados* o *inducidos* por la contaminación y la disposición de los individuos a pagar para reducir la contaminación. La hipótesis a desarrollar se basa en que la exposición a la contaminación por material particulado se asocia con la presencia de síntomas o enfermedades respiratorias para los individuos que trabajan en el área de estudio. Para lograr el objetivo, se usa información recolectada por los autores sobre 1.000 individuos en el centro de Medellín.

La contaminación del aire en Medellín

En Colombia, Medellín se reconoce como una de las ciudades con mayor nivel de descargas de contaminantes a la atmósfera [27]. Los niveles de contaminación regularmente exceden la norma establecida por la OMS como de riesgo para la salud humana. Las fuentes móviles son la principal causa de contaminación del aire en Medellín [21, 28]. Este problema de contaminación del aire impacta negativamente la salud de las personas expuestas. La evidencia hallada en la ciudad va desde mediciones de los niveles de contaminación ambiental en diferentes zonas del área metropolitana [29-31] hasta su relación con problemas respiratorios [7, 26, 28, 32-34]. La evidencia de estos estudios es unánime acerca del efecto que la contaminación tiene en la salud de los habitantes de Medellín.

Del análisis de los volúmenes de contaminación y calidad del aire, el centro de Medellín se considera una de estas zonas y, en especial las zonas ubicadas en los alrededores del edificio Miguel de Aguinaga y en San Antonio, se caracterizan por su alta contaminación por material particulado ($PM_{2,5}$ y PM_{10}) [29, 35].

Datos de la Red de Vigilancia de la Calidad de Aire (Redaire) [36, 37] evidencian que los promedios diarios, mensuales y anuales de $PM_{2,5}$ (estación Miguel de Aguinaga) y PM_{10} (estación San Antonio) superan la norma de la OMS, catalogada de riesgo para la salud humana. Las emisiones de PM_{10} en el centro de Medellín, aunque están dentro de los promedios establecidos por la norma nacional [38], no cumplen con el promedio establecido por la OMS. Para el material particulado $PM_{2,5}$, contaminante de gran influencia en la salud de los individuos, las concentraciones son preocupantes, en especial en el centro de Medellín, zona crítica con alta movilidad vehicular y de personas que provienen de diferentes lugares de Medellín y el valle del Aburrá. La alcaldía de Medellín estima que aproximadamente un millón de personas transitan por el centro de Medellín de forma intermitente, por lapsos de tiempo. Cifras no oficiales sugieren que más de 9.000 venteros ambulantes que se encuentran registrados por la oficina de espacio público en el centro de Medellín [39] cumplen su jornada laboral (entre 6 y

10 horas) en esta zona expuestos a la contaminación. La OMS establece que individuos expuestos a altos niveles de contaminación tienen mayor vulnerabilidad de sufrir enfermedades respiratorias.

Datos

Esta investigación emplea datos únicos recolectados por los autores a través de una encuesta realizada entre junio y agosto del 2010 a individuos expuestos a la contaminación en el centro de Medellín. La elección de los individuos encuestados se realizó siguiendo una muestra no probabilística, debido a las características de la investigación y a la zona donde se realizó la encuesta. Esta se consideró siguiendo los lineamientos de la OMS [22], que plantea que el material particulado incide en problemas respiratorios (síntomas como enfermedades), y la validó un epidemiólogo. La zona objeto de estudio (reconocida por su alto grado de contaminación por material particulado**) fue dividida en dos lugares: 1) entre las calles 51 y 54 y las carreras 50 y 52 (zona donde se ubica el Edificio Miguel de Aguinaga) y 2) entre las calles 46 y 48 y las carreras 49 y 51 (zona donde se ubica la estación y el parque de San Antonio). El objetivo de la encuesta fue la población expuesta; así, la población encuestada trabaja en la zona de forma permanente y ejerce una actividad económica (no es de interés para el presente artículo controlar la población con individuos no expuestos). Para controlar errores de recolección de datos, se depuró la información hasta reducir la muestra a 992 individuos.

La encuesta se dividió en información personal, información sobre la exposición, información de salud, los costos inducidos (indirectos) y la disposición a pagar por disminuir la contaminación (directos). La información recolectada se agrupó en variables de exposición, de susceptibilidad y de respuesta social, como lo sugiere Makri y Stilianakis [1]. El grupo exposición incluye 'horas diarias en la zona', 'meses trabajando en la zona' (ambas son variables continuas) y 'lugar de trabajo' (discreta, que toma valor = 1 si el individuo trabaja en un espacio interior o cero si lo hace afuera). El grupo susceptibilidad incluye 'género' (variable discreta que toma valor de uno si es hombre y de cero si es mujer), 'edad' (variable continua) y 'sisbén' (variable discreta igual a 1 si el individuo pertenece al sisbén e igual a cero si corresponde al contributivo). El grupo de respuesta incluye estrato socioeconómico, que se dividió en 'estrato bajo' (variable discreta igual a 1 si pertenece a los estratos 0, 1 o 2) y 'estrato medio' (variable discreta igual a 1 si pertenece al estrato 3 o 4) y nivel de educación, que se dividió en 'ninguna educación' (variable discreta = 1 si no estudió 0 en otro caso) y 'educación hasta bachille-

** El material particulado es uno de los contaminantes que mayor incidencia tiene en enfermedades respiratorias [22].

rato' (variable discreta = 1 si el individuo estudio hasta bachillerato 0 en otro caso).

Con la información de salud se construyeron las variables dependientes *algún síntoma leve* (LEVE), alguna enfermedad (GRAVE) y la variable *algún síntoma o enfermedad* (EMF), que agrupa las variables LEVE y GRAVE. Similarmente, con la información sobre costos se construyó la variable GASTO a partir de dos variables: gasto total^{††} que recopila información sobre los gastos que asume el individuo cuando se enferma (valoración indirecta) y la disposición a pagar que revelan los individuos por evitar la contaminación (valoración directa). Se agregaron ambas variables y se eligió la de mayor valor. La variable GASTO busca determinar la relación entre pagar o no pagar y la vulnerabilidad a los efectos de la contaminación.

Metodología

Primero se realizó un análisis descriptivo (con efectos cruzados) de variables de exposición, susceptibilidad y respuesta social para determinar e identificar a las personas que presentan una mayor vulnerabilidad (presencia de un síntoma leve o enfermedad). En segundo lugar, se estima un modelo PROBIT para determinar la probabilidad de que las personas expuestas al material particulado presenten un síntoma leve o enfermedad respiratoria. En este sentido, la ecuación a estimar está dada por:

$$\text{Prob}(\text{Presentar un síntoma o enfermedad}|X) \quad (1)$$

La ecuación (1) describe la probabilidad de presentar algún síntoma (leve) o enfermedad (grave) respiratorio, dada una matriz de información (X), que contiene los controles asociados a la exposición en tiempo, horas y lugar. Además, debe controlarse por características socioeconómicas e idiosincráticas que tratan de controlar el grado de vulnerabilidad descrita en la primera parte del artículo. Dado que la variable dependiente es binaria, la estimación bajo MCO es inconsistente [40]. Como alternativa, los modelos de respuesta binaria cualitativa recuperan la eficiencia en los estimadores; de este modo, el modelo estimable estará dado por:

$$\text{Prob}(y_i = 1|X) = \Phi(X'\beta) = \int_{-\infty}^{X'\beta} \phi(z)dz \quad (2)$$

Se espera que quienes permanezcan en promedio mayor tiempo en la zona tengan mayor probabilidad de sufrir un síntoma o una enfermedad. Es de interés determinar el efecto marginal que el cambio en las variables independientes aporta a la probabilidad de presentar un

síntoma leve o enfermedad. La medición de este efecto implica derivar la ecuación (1), respecto de los regresores (X) [40]. La ecuación (3) expresa el efecto marginal.

$$\frac{\partial \text{P}(y=1/x)}{\partial x_j} = \frac{\partial \Phi(\beta'x)}{\partial x_j} = \Phi(x'\beta)\beta_j \quad (3)$$

Para corroborar la robustez del modelo, se empleó el método de adición de variables (al adicionar variables los coeficientes no evidencian cambios significativos) y se realizaron pruebas de ajuste de los diferentes modelos, validando su consistencia y robustez. La presencia de síntomas o enfermedades en los individuos encuestados se debe a la exposición a la contaminación o a condiciones preexistentes (se omitieron de la encuesta los individuos que fumaran para evitar correlación). Es difícil establecer condiciones preexistentes, pero argumentos de la OMS establecen que la contaminación del aire agrava cuadros respiratorios preestablecidos. Por esta razón, en la encuesta se preguntó sobre la continuidad y duración de los síntomas o enfermedades. El bajo número de respuestas con alta duración (menor al 4 %) sugiere no preexistencias. Se suponen, dentro del modelo, efectos fijos por comunas y por nivel de ingresos, lo que implica que independientemente del lugar donde vive, la exposición ocurre en su lugar de trabajo y el nivel de ingresos de las personas es poco variable.

Resultados

Análisis descriptivo

Del total de la muestra, 58 % son mujeres y 42 %, hombres; el 93 % pertenecen a los estratos 1, 2 y 3 (24, 44 y 25 %, respectivamente). Un 90 % de los individuos, al menos, ha estudiado hasta bachillerato. El 80 % son trabajadores informales y el 52 % son independientes que destinan en promedio 10 horas de trabajo en la zona encuestada. El 97 % tienen ingresos mensuales de entre menos de un salario mínimo mensual y dos salarios mínimos mensuales. El promedio de edad es de 39 años; además, 48 % están afiliados a EPS y 52 % al sisbén. Aproximadamente el 45 % de los encuestados reporta que viven en la zona centro-oriental de Medellín. Un 67,7 % reportan que han pagado algún tipo de GASTO, mientras que el 32,3 % restante no reportan GASTO alguno, lo cual indica que la mayoría estaría dispuesta a pagar para reducir el nivel de contaminación en la zona. En promedio, cada individuo estaría dispuesto a pagar (de forma directa o indirecta) \$18.960 mensuales para reducir la contaminación.

†† Los gastos totales incluyen: gasto cuota moderadora, gasto en movilidad, gasto en medicamentos (o remedios caseros) y gastos en tratamiento.

Al analizar la vulnerabilidad por grupos de variables de exposición, susceptibilidad y respuesta social, se observa que la vulnerabilidad de personas expuestas aumenta con el tiempo expuesto, es decir, la mayor permanencia en la zona en horas (entre 8 y 12 horas) o en meses (más de 36 meses) influye en la presencia de un síntoma leve o enfermedad. Para las variables de susceptibilidad (género, edad y salud) se observa que las mujeres son más vulnerables a presentar un síntoma leve o enfermedad, así como los individuos con edades entre los 15 y 35 años (tabla 1), mientras que las personas que pertenecen al sisbén tienen mayor vulnerabilidad de presentar un síntoma leve o enfermedad comparada con las personas del sistema contributivo.

Tabla 1. Efecto cruzado entre variables de exposición y susceptibilidad y las variables al menos presenta un síntoma leve o enfermedad (EMF), solo un síntoma leve (LEVE) y solo una enfermedad (GRAVE)

Variable (promedio)	EMF (%)		LEVE (%)		GRAVE (%)	
	358	642 ^a	358	391	358	75
Horas (10,28)	0 ^b	1	0	1	0	1
0-8h	8	14	11	10	19	6
8h-12h	25	44	33	37	56	11
12h >	3	6	4	5	7	1
Tiempo meses (81,12)	0	1	0	1	0	1
0-36 meses	17	30	22	23	39	8
36 meses >	19	34	26	29	44	9
Género	0 ^b	1	0	1	0	1
Hombres	15	27	20	24	35	7
Mujeres	21	37	27	29	48	10
Edad (38,78)	0	1	0	1	0	1
15-35	18	31	24	24	42	8
36-50	10	18	13	16	23	5
Más de 50 >	8	15	10	13	18	4
Salud	0	1	0	1	0	1
Sisbén	17	35	23	27	40	11
Contributivo (EPS)	18	30	24	26	42	7

^a Número de individuos que reportaron al menos un síntoma leve o enfermedad (EMF), un síntoma leve (LEVE) o una enfermedad (GRAVE)

^b 1: individuos que reportaron al menos un síntoma leve o grave; 0: individuos que no reportaron

Las variables de respuesta social (nivel de ingresos, estrato y nivel de educación) evidencian que las personas con un ingreso entre uno y dos salarios mínimos legales vigentes (SMLV) son más vulnerables a presentar un síntoma leve o grave, seguidas por individuos con ingresos entre dos y tres SMLV (tabla 2). Los individuos pertenecientes al estrato dos presentan mayor vulnerabi-

lidad, seguidos de los individuos del estrato uno (aunque para personas del estrato tres es mayor la vulnerabilidad de presentar una enfermedad grave). El nivel educativo evidencia cómo personas con bachillerato y primaria, respectivamente, son más propensas a presentar un síntoma leve o enfermedad grave.

Adicionalmente, los datos sugieren que si se toma en cuenta el gasto inducido que las personas asumen por la presencia de un síntoma leve o enfermedad grave y la disponibilidad a pagar para evitar la contaminación, la mayoría de los individuos con gasto positivo son más vulnerables.

Tabla 2. Efecto cruzado entre variables de respuesta social y las variables al menos presenta un síntoma leve o enfermedad (EMF), solo un síntoma leve (LEVE) y solo una enfermedad (GRAVE)

Variable (promedio)	EMF (%)		LEVE (%)		GRAVE (%)	
	358	642 ^a	358	391	358	75
Nivel de ingresos	0 ^b	1	0	1	0	1
0-1	1	1	1	1	1	0
1-2	18	32	24	25	42	10
2-3	16	29	21	24	37	8
3-4	1	2	1	2	2	0
4 >	0	0	1	0	1	0
Estrato	0	1	0	1	0	1
0	0,5	2	1	1	1	0
1	9	16	12	14	21	3
2	16	29	21	24	37	8
3	9	16	12	11	20	5
4	1,5	2	2	2	3	0
5	0	0	0	0	0	0
Nivel de educación	0	1	0	1	0	1
Sin educación	1	3	2	3	3	1
Preescolar	1	2	1	1	1	0
Primaria	13	22	18	19	31	5
Bachillerato	18	32	23	25	41	10
Universitario	3	5	4	3	6	1

^a Número de individuos que reportaron al menos un síntoma leve o enfermedad (EMF), un síntoma leve (leve) o una enfermedad (grave)

^b 1: individuos que reportaron al menos un síntoma leve o grave; 0: individuos que no reportaron

Modelo Probit

Para controlar los elementos no observados para los individuos de estudio, que podrían estar asociados a las condiciones de vida en su lugar de vivienda, el nivel de ingresos y el nivel educativo o a las características condicionadas por el tipo de trabajador (dependiente o independiente), se incluyeron efectos fijos por zona, ingre-

sos y educación y se estimaron los errores robustos por clúster de tipo de trabajador, con el fin de tener en cuenta los efectos no observados entre los mismos trabajadores.

Se estimó un total de 27 modelos, de los cuales 21 buscaron relacionar la probabilidad de presentar algún síntoma o enfermedad (EMF) (tabla 3), la probabilidad de presentar solo algún síntoma (LEVE) (tabla 4) y la probabilidad de presentar solo alguna enfermedad (GRAVE) (tabla 5). Los últimos seis modelos buscan relacionar cómo pagar o no pagar determinan la probabilidad de presentar algún síntoma o enfermedad (EMF), algún síntoma leve o alguna enfermedad (tabla 6).

En los modelos para EMF (tabla 3), las variables tienen los signos esperados según la descripción de las estadísticas descriptivas y la revisión de la literatura. Para efectos de la comparación de la incidencia de las variables sobre la probabilidad de enfermarse, se analizan los coeficientes estimados en el modelo 7, que tiene mayor número de variables; sin embargo, las variables a considerar son aquellas que resulten significativas en la mayor parte de los casos y que su signo y cuantía sea robusto con la inclusión de otras.

El efecto marginal muestra que un mayor número de horas expuesto, ser de estrato bajo, no tener ninguna educación, la edad y tener un pago positivo aumenta la

Tabla 3. Regresiones principales. Variable dependiente: ha presentado algún síntoma o enfermedad respiratoria (emf) (sí = 1)

	1	2	3	4	5	6	7
Horas diarias en la zona	0,0291 ^a (1,76)	0,0311 ^c (2,80)	0,0268 ^c (2,66)	0,0250 ^b (2,01)	0,0302 ^b (2,52)	0,0300 ^b (2,56)	0,0296 ^b (2,38)
Meses trabajando en la zona			0,000381 (0,66)	0,000386 (0,72)	0,000482 (0,94)	0,000429 (0,89)	0,000448 (0,87)
Lugar de trabajo (interior = 1)			-0,0903 ^c (-22,68)	-0,0769 ^b (-2,47)	-0,133 ^c (-6,04)	-0,130 ^c (-5,12)	-0,140 ^c (-11,57)
Estrato 0, 1 y 2				0,354 ^c (4,26)	0,392 ^c (5,27)	0,392 ^c (6,05)	0,428 ^c (14,56)
Estrato 3 y 4				0,299 (1,39)	0,310 (1,43)	0,313 (1,58)	0,348 ^b (2,02)
Género, masculino = 1					-0,0626 ^c (-8,00)	-0,0757 ^c (-5,18)	-0,0843 ^c (-4,90)
Sisbén (contributivo=0)					-0,138 ^c (-2,64)	-0,136 ^b (-2,45)	-0,143 ^c (-3,11)
Ninguna educación						0,199 ^b (2,10)	0,181 ^b (2,02)
Educación hasta bachillerato						-0,0284 (-0,82)	-0,0502 ^a (-1,83)
Edad							0,00119 ^c (5,04)
Pago = 1 (no pago = 0)							0,328 ^c (4,31)
Efectos fijos por comuna	no	sí	sí	sí	sí	sí	sí
Efectos fijos nivel de ingresos	no	sí	sí	sí	sí	sí	sí
Observaciones	992	986	986	986	986	986	986
Pseudo R2	0,00158	0,00984	0,0113	0,0122	0,0141	0,0156	0,0269
Log-verosimilitud	-645,4	-636,8	-635,9	-635,3	-634,0	-633,1	-625,8

Estadístico t en paréntesis. Efectos marginales reportados. Errores estándar robustos estimados por tipo de trabajador.

^aP < 0,10, ^bP < 0,05, ^cP < 0,01

Tabla 4. Regresiones para síntomas. Variable dependiente: ha presentado algún síntoma (LEVE) (si = 1)

	1	2	3	4	5	6	7
Horas diarias en la zona	0,0410 (1,43)	0,0368 (1,37)	0,0307 (1,50)	0,0288 (1,32)	0,0320 (1,53)	0,0320 (1,54)	0,0321 (1,46)
Meses trabajando en la zona			0,000387 (0,61)	0,000686 ^b (2,09)	0,000724 ^o (2,38)	0,000642 ^b (2,30)	0,000686 ^o (2,48)
Lugar de trabajo (interior = 1)			-0,208 ^c (-2,95)	-0,107 (-1,40)	-0,149 ^c (-2,82)	-0,152 ^c (-3,60)	-0,146 ^c (-4,01)
Estrato 0, 1 y 2				0,270 ^c (3,89)	0,285 ^c (3,25)	0,288 ^c (3,04)	0,295 ^c (2,59)
Estrato 3 y 4				0,133 (1,38)	0,126 (1,32)	0,134 (1,57)	0,150 ^a (1,95)
Género, masculino = 1					0,00679 (0,41)	-0,00644 (-0,56)	-0,0123 (-0,90)
Sisben (contributivo = 0)					-0,131 (-1,25)	-0,128 (-1,19)	-0,128 (-1,32)
Ninguna educación						0,218 ^c (9,64)	0,216 ^c (9,08)
Educación hasta bachillerato						-0,00386 (-0,14)	-0,00604 (-0,19)
Edad							0,000554 (1,28)
Pago							0,198 ^c (3,12)
Efectos fijos comuna	no	sí	sí	sí	sí	sí	sí
Efectos fijos nivel de ingresos	no	sí	sí	sí	sí	sí	sí
Observaciones	741	736	736	736	736	736	736
Pseudo R2	0,00304	0,0125	0,0172	0,0185	0,0198	0,0213	0,0252
Log-verosimilitud	-511,3	-503,1	-500,7	-500,1	-499,4	-498,6	-496,6

Estadístico t en paréntesis. Efectos marginales reportados. Errores estándar robustos estimados por tipo de trabajador.

^a p < 0,10, ^b p < 0,05, ^c p < 0,01

Tabla 5. Regresiones para síntomas. Variable dependiente: ha presentado algún síntomas (GRAVE) (si = 1)

	1	2	3	4	5	6	7
Horas diarias en la zona	-0,0356 (-1,60)	-0,0289 (-0,96)	-0,0230 (-0,99)	-0,0275 (-0,95)	-0,0206 (-0,62)	-0,0220 (-0,61)	-0,0171 (-0,55)
Meses trabajando en la zona			0,00149 ^c (3,50)	0,00199 ^c (3,39)	0,00205 ^c (5,60)	0,00210 ^c (5,69)	0,00228 ^c (8,70)
Lugar de trabajo (Interior = 1)			0,300 ^c (2,59)	0,426 ^c (3,96)	0,328 ^b (2,53)	0,370 ^b (2,53)	0,445 ^c (2,83)
Estrato 0, 1 y 2				0,127 (0,16)	0,187 (0,28)	0,212 (0,30)	0,277 (0,59)
Estrato 3 y 4				-0,0180 (-0,02)	0,00629 (0,01)	0,0627 (0,08)	0,106 (0,19)

Continuación tabla 5

	1	2	3	4	5	6	7
Género, Masculino=1					0,00560 (0,02)	-0,0143 (-0,06)	-0,0250 (-0,09)
Sisben (Contributivo=0)					-0,226 ^c (-12,83)	-0,229 ^c (-20,63)	-0,258 ^c (-34,39)
Ninguna educación						0,501 (1,55)	0,318 (1,06)
Educación hasta bachillerato						0,385 (1,64)	0,309 (1,30)
Edad							0,00489 ^c (4,21)
Pago							0,399 ^c (4,14)
Efectos fijos comuna	no	sí	sí	sí	sí	sí	sí
Efectos fijos nivel de ingresos	no	sí	sí	sí	sí	sí	sí
Observaciones	429	392	392	392	392	392	392
Pseudo R2	0,00249	0,0494	0,0637	0,0653	0,0690	0,0722	0,0862
Log-verosimilitud	-198,3	-179,1	-176,4	-176,1	-175,4	-174,8	-172,2

Estadístico t en paréntesis. Efectos marginales reportados. Errores estándar robustos estimados por tipo de trabajador.

^ap < 0,10, ^bp < 0,05, ^cp < 0,01

Tabla 6. Regresiones por tipo de pago

	Gasto positivo			Gasto cero		
	Algún síntoma o enfermedad	LEVE	GRAVE	Algún síntoma o enfermedad	LEVE	GRAVE
Horas diarias en la zona	0,0588 ^c (2,77)	0,0687 ^b (2,08)	0,0132 (0,57)	-0,00613 ^c (-57,38)	0,00147 (0,05)	-0,0125 (-0,16)
Meses trabajando en la zona	0,000641 (0,61)	0,00111 (0,91)	0,000585 ^c (3,77)	0,000441 ^c (51,58)	-0,000267 ^b (-2,02)	0,00365 ^c (21,89)
Lugar de trabajo (interior = 1)	-0,0972 ^c (-11,57)	-0,201 ^c (-5,09)	0,350 ^c (5,07)	-0,191 ^c (-2,72)	-0,305 ^c (-7,58)	0,428 ^c (4,86)
Estrato 0, 1 y 2	0,140 (0,25)	0,255 (0,32)	-1,238 ^c (-9,84)	0,502 (1,11)	0,0377 (0,11)	5,557 ^c (18,14)
Estrato 3 y 4	0,143 (0,33)	0,0440 (0,06)	-1,064 ^c (-4,84)	0,324 (0,74)	-0,00575 (-0,01)	4,895 ^c (14,89)
Género, masculino = 1	-0,00896 (-0,05)	0,0926 (0,47)	-0,132 (-0,32)	-0,210 (-1,14)	-0,216 (-0,76)	0,108 (0,32)
Sisbén (contributivo = 0)	-0,171 ^c (-34,42)	-0,235 ^c (-2,66)	-0,315 ^{**} (-2,11)	-0,0932 (-0,46)	-0,0311 (-0,12)	-0,259 (-0,97)
Ninguna educación	0,0812 (0,51)	-0,0460 (-0,17)	1,478 ^c (5,72)	0,364 (1,16)	0,517 ^a (1,78)	-0,982 ^c (-20,13)

Continuación tabla 6

	Gasto positivo			Gasto cero		
	Algún síntoma o enfermedad	LEVE	GRAVE	Algún síntoma o enfermedad	LEVE	GRAVE
Educación hasta bachillerato	-0,0779 (-0,55)	-0,160 (-0,86)	0,900 ^c (3,93)	0,00280 (0,02)	0,157 (1,37)	-0,271 ^c (-5,76)
Edad	-0,00194 (-1,07)	-0,00488 ^b (-2,15)	0,00802 (1,27)	0,00455 (1,09)	0,00692 (1,53)	- -
Efectos fijos comuna	sí	sí	sí	sí	sí	sí
Efectos fijos nivel de ingresos	sí	sí	sí	sí	sí	sí
Observaciones	545	380	197	427	346	171
Pseudo R2	0,0406	0,0512	0,163	0,0358	0,0524	0,149
Log-verosimilitud	-324,5	-247,9	-88,58	-279,0	-227,2	-64,84

Estadístico t en paréntesis. Efectos marginales reportados. Errores estándar robustos estimados por tipo de trabajador.

a p < 0,10, b p < 0,05, c p < 0,01

probabilidad de presentar un síntoma o enfermedad respiratoria (3, 42,8, 18,1, 0,012 y 32,8 %, respectivamente). Asimismo, trabajar en el interior, ser hombre, pertenecer al sistema contributivo y estudiar hasta bachillerato disminuye la probabilidad de presentar un síntoma o enfermedad respiratoria (-14, -8,4, -14,3, -5 %, respectivamente).

En los modelos para leve (tabla 4), el número de variables significativas es menor. Los resultados muestran cómo un mayor número de meses trabajando en la zona, pertenecer al estrato bajo, no tener ninguna educación y tener un pago positivo implican un efecto marginal positivo de presentar un síntoma respiratorio leve (0,06, 29,5, 21,6 y 19,8 %, respectivamente). Mientras, trabajar en el interior implica una menor probabilidad de presentar un síntoma leve (-14,6 %). Aunque los meses trabajando en la zona incide en la probabilidad de enfermarse, este efecto es pírrico comparado con otras características socioeconómicas de la muestra.

En los modelos para grave (tabla 5), el número de variables significativas es menor que con EMF y leve. Los resultados muestran cómo un mayor número de meses trabajando en la zona, trabajar en el interior, la edad y un pago positivo implican un aumento en la probabilidad marginal de presentar una enfermedad respiratoria (0,23, 44,5, 0,49 y 40 %, respectivamente). Asimismo, pertenecer al Sisbén reduce la probabilidad de presentar una enfermedad respiratoria (-25,8 %). Similarmente al modelo con leve, el efecto de los meses trabajando en zona es pequeño.

En resumen, las variables de exposición evidencian un efecto positivo en la probabilidad de presentar un síntoma leve o enfermedad; al mismo tiempo, la probabilidad de presentar un síntoma leve o enfermedad (EMF) depende de las horas que se destinan en la zona, presen-

tar solo un síntoma o una enfermedad depende de los meses trabajando en la zona, y aunque el efecto marginal es pequeño, comparado con las demás variables, es positivo y significativo. Que los individuos laboren afuera incrementa la probabilidad marginal de presentar un síntoma leve, pero disminuye la probabilidad de presentar una enfermedad. Las variables de susceptibilidad tienen un efecto marginal significativo en la probabilidad de presentar una enfermedad, pero no en la probabilidad de presentar un síntoma, mientras que las variables de respuesta social tienen un efecto marginal significativo en la probabilidad de presentar un síntoma pero no en la probabilidad de presentar una enfermedad. La variable pago es significativa en todos los modelos y presenta un mayor efecto marginal para la probabilidad de presentar una enfermedad (40 %) que un síntoma (20 %) o un síntoma o enfermedad (33 %).

El último ejercicio econométrico trata de identificar diferencias en la probabilidad de enfermarse entre los individuos con gasto positivo (gasto > 0) y los individuos con gasto cero (gasto = 0). Con esta variable se definieron subgrupos y se ajustaron modelos Probit (tabla 6). Si se comparan los modelos con algún síntoma o enfermedad en los grupos de gasto positivo y gasto cero, se encuentra que el efecto de la exposición a la contaminación medida en horas diarias en zona es positiva (5,9%), mientras que con gasto = 0 es negativa (-0,6 %); además, con gasto = 0 se aprecia un efecto positivo significativo (aunque muy pequeño) de los meses trabajando en la zona (0,044 %). Las variables de respuesta social son no significativas en ambos modelos y solo la variable sisbén es significativa y negativa para gasto > 0. En los modelos de síntoma leve, para gasto > 0, el efecto marginal de las horas expuesto es significativo y positivo

(6,9 %) y lugar de trabajo es negativo (-20 %), así como el efecto de las variables sisbén (-23,5 %) y edad (-0,5 %), mientras que para gasto = 0 el efecto marginal de la exposición en meses fue significativo, negativo y pequeño (-0,03 %), lugar de trabajo, negativo (-30,5 %) y ninguna educación, positivo (52 %). En los modelos de enfermedades, las variables de exposición horas en zona y lugar de trabajo son significativas y positivas en ambos casos (con gasto > 0, 0,6 y 35 %; con gasto = 0, 0,4 y 43 %). Se resalta que el efecto de las variables estrato (bajo y medio) es mayor al 100 % (negativo para gasto > 0 y positivo para gasto = 0), mientras que el efecto marginal de la variable educación es positivo para gasto > 0 y negativo para gasto = 0.

Conclusiones y discusión

El presente estudio concluye que la vulnerabilidad reconocida como el riesgo que tiene un individuo de presentar un problema respiratorio puede afectarse a partir de variables de exposición, susceptibilidad y respuesta social, como lo muestran los resultados encontrados en los modelos y los datos analizados. En este artículo se concluye que las variables exposición, susceptibilidad y respuesta social tienen una mayor incidencia en la vulnerabilidad que los individuos tienen de presentar problemas respiratorios representados en síntomas o enfermedades. Así, mayor exposición aumenta la vulnerabilidad de presentar un síntoma o enfermedad, mientras que menor nivel de educación y menor estrato social aumenta la vulnerabilidad de los individuos de presentar un síntoma y mayor edad y pertenecer al sistema contributivo de salud aumenta la vulnerabilidad de las personas de presentar una enfermedad. La variable pago es significativa en todos los modelos, lo cual implica que la vulnerabilidad incentiva el gasto inducido o directo de los individuos expuestos en el centro de Medellín. Sin embargo, esta afirmación debe corroborarse y ampliarse con estudios adicionales.

Es interesante observar cómo trabajar en el interior reduce la vulnerabilidad de individuos que reportan un síntoma leve, pero aumenta la vulnerabilidad de quienes reportan una enfermedad. La persistencia en la relevancia de los meses trabajando en la zona manifiesta una mayor relevancia de la persistencia en la exposición (meses) que de la intensidad en la exposición (horas). Además, individuos con pago tienden a ser vulnerables cuando se exponen una mayor cantidad de horas diarias en la zona, mientras los individuos sin pago tienen mayor vulnerabilidad asociada a la cantidad de meses que trabajan en la zona.

La vulnerabilidad dividida en tres grupos puede mostrar cómo las variables de respuesta social afectan más a individuos que reportan síntomas que a los individuos que reportan una enfermedad. De manera análoga,

las variables de susceptibilidad afectan más la vulnerabilidad de los individuos que presentan una enfermedad que aquellos que presentan un síntoma. El efecto de las variables de exposición en los modelos tienen un efecto bajo, lo cual implica que la vulnerabilidad de los individuos en Medellín, atiende a variables sociales o de susceptibilidad. Sin embargo, esto puede deberse a la homogeneidad de los datos, lo cual se evidencia en algunos análisis estadísticos elaborados por los autores, en que las variables presentan distribuciones similares por grupos y con efectos cruzados con las variables de exposición, lo que se debe a la naturaleza de los datos. Esto hace difícil el uso de modelos Probit en la medida en que la variabilidad entre los grupos de variables es poca.

Para corregir y encontrar variabilidad se buscó dividir la muestra entre los individuos encuestados en Aguinaga y San Antonio, pero esta división no altera el problema. Adicionalmente, se buscó volver las variables de exposición binarias construyendo rangos, pero tampoco se presentan cambios. Finalmente, se optó por realizar un análisis descriptivo previo para capturar algunos efectos individuales de importancia que no se recogen en los modelos.

Por grupos, las mujeres con edades entre 15 y 35 años tienen mayor grado de vulnerabilidad que los hombres en el mismo rango de edad, como lo evidencian Makri y Stilianakis [1] y Boezen y otros [41]. El resultado de la salud es intuitivo según Peled [18], quien expresa una mayor vulnerabilidad de grupos con acceso limitado a los sistemas de salud. El nivel de ingresos, aunque muestra que individuos que reciben entre uno y dos SMLV reportan mayor vulnerabilidad, la diferencia con aquellos que reciben de dos a tres no es mucha (entre estos dos rangos está más del 90 % de las personas, lo que implica poca variabilidad). Los individuos en estrato bajo 0, 1 y 2 tienen mayor vulnerabilidad, como lo plantea Peled [18]. Las personas con nivel de educación mayor son menos vulnerables, de forma similar a lo planteado por Makri y Stilianakis [1], Peled [18] y Namdeo y otros [20].

Los resultados son consistentes con lo que plantean Makri y Stilianakis [1], Peled [18] y Namdeo y otros [20], quienes afirman que la exposición es una variable clave en la presencia de problemas respiratorios (vulnerabilidad), pero que los individuos expuestos pueden presentar problemas en salud, debido no solo a la contaminación per se, sino a condiciones personales y sociales implícitas. Este artículo contribuye a la comprensión de los efectos de la exposición en la vulnerabilidad de individuos expuestos y aporta al debate sobre los problemas que la contaminación causa a la salud humana.

Agradecimientos

Se agradece a quienes ayudaron en la recopilación de la información en el centro de Medellín, al Centro de

Investigaciones y Consultorías (CIC) de la Facultad de Ciencias Económicas por su apoyo y a Aurelio Mejía por sus comentarios y apreciaciones.

Referencias

- 1 Makri A, Stilianakis N. Vulnerability to Air Pollution Health Effects. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 2008; 211:326-336.
- 2 Dean G. Air Pollution and Health. *The Journal of the Royal Society for the Promotion of Health* 1968; 88:31-32.
- 3 Bates D. The Health Effects of Air Pollution. *Journal of Respiratory Diseases* 1980;1:29-37.
- 4 Brunekreef B, Holgate S. Air pollution and health. *The Lancet* 2002;360:1233-1242.
- 5 Chappie M, Lave L. The Health Effects of Air Pollution: A Reanalysis *Journal of Urban Economics* 1981;12:346-376.
- 6 O'Neill M, Jerrett M. Health, Wealth, and Air Pollution: Advancing Theory and Methods. *Environmental Health Perspectives* 2003; 111: 1861-1870.
- 7 Muñoz AM, Paz JJ, and Quiroz CM. Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud en adultos que laboran a diferentes niveles de exposición. *Rev. Fac. Nac. Salud Pública* 2007; 25(2):85-94.
- 8 Zuidema T, Andries N. Health Damage of Air Pollution: An Estimate of a Dose-Response Relationship for the Netherlands. *Environmental and Resource Economics* 1997; 9: 291-308.
- 9 Dockery DW, Pope A. Acute Respiratory Effects of Particulate Air Pollution. *Annual Review of Public Health* 1994;15:107-132.
- 10 Pope, Arden; Bates, David and Raizenne, Mark. Health Effects of Particulate Air Pollution: Time for Reassessment? *Environmental Health Perspectives* [revista en Internet] 1995; 1: 472-480. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1523269/pdf/envhper00354-0064.pdf>.
- 11 Zanobetti A, Franklin M, Koutrakis P, Schwartz J. Fine Particulate Air Pollution and Its Components in Association with Cause-Specific Emergency Admissions. *Environmental Health* 2009; 8(1):58-70.
- 12 Burnett RT, Smith-Doiron M, Stieb D, Cakmak S, Brook JR. Effects of Particulate and Gaseous Air Pollution on Cardiorespiratory Hospitalizations. *Archives of Environmental Health* 1999;54:130-139.
- 13 Le Tertre A, Medina S, Samoli E, Forsberg B, Michelozzi P, Boumghar A, Vonk JM, Bellini A, Atkinson R, Ayres JG, Sunyer J, Schwartz J, and Katsouyanni K. Short-term Effects of Particulate Air Pollution on Cardiovascular Diseases in Eight European Cities. *Journal of Epidemiology and Community Health* 2002;56:773-779.
- 14 O'Neill M, Veves A, Zanobetti A, Sarnat JA, Gold DR, Economidis PA, et al. Diabetes Enhances Vulnerability to Particulate Air Pollution-Associated Impairment in Vascular Reactivity and Endothelial Function. *Circulation* 2005;111:2913-2920.
- 15 Zanobetti A, Schwartz J. Cardiovascular Damage by Airborne Particles: Are Diabetics More Susceptible? *Epidemiology* 2002; 13: 588-592.
- 16 Dominici F, Daniels M, Zeger S, Samet J. Air Pollution and Mortality. *Journal of the American Statistical Association* 2002; 97(457):100-111.
- 17 Ostro Bart. Air Pollution and Morbidity Revisited: A Specification Test. *Journal of Environmental Economics and Management* 1987;14:87-98.
- 18 Peled R. Air pollution exposure: Who is at high risk? *Atmospheric Environment* 2011; 45:1781-1785.
- 19 Gurjar B, Jain A, Sharma A, Agarwal A, Gupta P, Nagpure AS, et al. Human Health Risks in Megacities Due to Air Pollution. *Atmospheric Environment* 2010;44:4606-4613.
- 20 Namdeo A, Tiwary A, Farrow E. Estimation of Age-Related Vulnerability to Air Pollution: Assessment of Respiratory Health at Local Scale. *Environment International* 2011;37:829-837.
- 21 Arias M, Cardona J. Aire envenenado en el Valle de Aburrá. *El Reto: El medio del medio ambiente* 2004;51:19-28.
- 22 Organización Mundial de la Salud (OMS). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2008. Washington: OMS.
- 23 García-Ubaque JC, García-Ubaque CA, Vaca-Bohórquez ML. Medical Consultation in Productive Age Population Related with Air Pollution Levels in Bogota City. *Procedia Environmental Sciences* 2011;4:165-169.
- 24 Halonen JI, Lanki T, Yli-Tuomi T, Tiittanen P, Kulmala M, y Pekkanen J. Particulate Air Pollution and Acute Cardiorespiratory Hospital Admissions and Mortality Among the Elderly. *Epidemiology* 2009;20:143-153.
- 25 Neidell M. Air Pollution, Health, and Socio-Economic Status: The Effect of Outdoor Air Quality on Childhood Asthma. *Journal of Health Economics* 2004; 23(6): 1209-1236.
- 26 Medellín Como Vamos. Patologías respiratorias en niños preescolares y su relación con la contaminación atmosférica de Medellín. Presentación mesa de trabajo sobre aire, 2008. Medellín: Alcaldía de Medellín; 2008.
- 27 Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES). Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire. Documento 3344, 2002 [Internet] [Acceso 12 de julio de 2011]. Disponible en: <http://www.humboldt.org.co/iavh/documentos/politica/conpes/CONPES%203344%20CONTAMINACION%20AIRE.pdf>.
- 28 Lenis J, Ospina J. El material particulado respirable emitido por el parque automotor y su relación con las enfermedades respiratorias reportadas por la secretaria de salud de Medellín 2003. [Tesis de grado] Medellín: Facultad Nacional de Salud Pública "Héctor Abad Gómez"; 2003.
- 29 Betancur H. Análisis de calidad del aire en el área metropolitana del Valle de Aburrá durante el primer semestre del año 2009. Práctica de terreno. Medellín: Facultad Nacional de Salud Pública; 2009.
- 30 Rave C, Builes L, Ossa J, Smith R. Identificación de zonas críticas por contaminación atmosférica en el área metropolitana del Valle de Aburrá. *Revista Gestión y Ambiente* 2008;11(1):55-66.
- 31 Uribe E. Air Pollution Management in Two Colombian Cities: Case Study. *Revista Desarrollo y Sociedad* 2004;54:1-50.
- 32 Cardona J. Material particulado, monóxido de carbono y ruido contaminan el aire de Medellín. *El Reto: El medio del medio ambiente* 2007; 65: 20-31.
- 33 Mazo J. Contaminación del aire por la emisión de asbesto, como consecuencia de la fricción de los frenos de los automóviles en la ciudad de Medellín y sus efectos sobre la salud humana. *EOLO* 2008; 08-09(13-14):84-93.

- 34 Martínez E. Contaminación Atmosférica, efectos sobre la salud en Medellín [Internet] [Acceso 02 de febrero de 2011]. Medellín; 2008. Disponible en <http://www.medellincomovamos.org/presentacion-contaminacion-atmosferica-los-efectos-sobre-la-salud-en-medellin>
- 35 Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA). Calidad del aire en el Valle de Aburrá en el 2009. Informe presentado por la Universidad Nacional de Colombia. Medellín: Universidad Nacional de Colombia; 2009.
- 36 Red de Vigilancia de la Calidad de Aire (REDAIRE). Evaluación de los niveles de contaminación en las zonas del valle de Aburrá. Informe ejecutivo 2008. Medellín: REDAIRE; 2008.
- 37 Red de Vigilancia de la Calidad de Aire (REDAIRE). Evaluación de los niveles de contaminación en las zonas del valle de Aburrá. Informe ejecutivo 2009. Medellín: REDAIRE; 2009.
- 38 República de Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto 979, 3 de abril de 2006: por el cual se modifican los artículos 7º, 10, 93, 94 y 108 del Decreto 948 de 1995. Bogotá: El Ministerio; 2006.
- 39 De la Urbe Digital. "Vendedores y espacio público: una historia de nunca acabar"[Internet] [Acceso 3 de agosto de 2009]. http://delaurbedigital.udea.edu.co/index.php?option=com_content&view=article&id=489:vendedores-y-espacio-publico-una-historia-de-nunca-acabar&catid=95:ciudad&Itemid=202.
- 40 Cameron C, Trivedi P. Microeconometrics: Methods and Applications. Cambridge University Press; 2005
- 41 Boezen HM, Vonk JM., Van der Zee SC, Gerritsen J, Hoek G, Brunekreef B, *et al.* Susceptibility to air pollution in elderly males and females. *European Respiratory Journal* 2005; 25:1018–1024.