

# Contaminación ambiental por PM<sub>10</sub> dentro y fuera del domicilio y capacidad respiratoria en Puerto Nare, Colombia

## PM<sub>10</sub> environmental pollution in and around housing and respiratory capacity in Puerto Nare, Colombia

María L. Montoya-Rendon, Patricia M. Zapata-Saldarriaga  
y Mauricio A. Correa-Ochoa

Facultad Nacional de Salud Pública, Universidad de Antioquia. Colombia.coordnaciongsa@saludpublica.udea.edu.co; pazasa@saludpublica.udea.edu.co; mcorrea@udea.edu.co

Recibido 16 Agosto 2012/Enviado para Modificación 20 Septiembre 2012/Aceptado 21 Octubre 2012

### RESUMEN

**Objetivo** Explorar la relación entre niveles de PM<sub>10</sub> intra y extradomiciliario y la función pulmonar de los habitantes, corregimiento La Sierra, Puerto Nare, Antioquia-Colombia.

**Materiales y Métodos** Mediante encuesta y observación, se determinaron condiciones ambientales y del entorno inmediato de viviendas correspondientes a 124 habitantes a los cuales se había realizado el examen espirométrico; se monitorearon condiciones meteorológicas: temperatura, humedad relativa, precipitación, velocidad del viento y PM<sub>10</sub> (24 horas) al interior y exterior de las casas.

**Resultados** En el 50 % de las viviendas el PM<sub>10</sub> interior (0,05mg/m<sup>3</sup>) fue <PM<sub>10</sub> exterior (0,06 mg/m<sup>3</sup>), humedad relativa 79,08 %, pluviosidad 33,03 mm, temperatura 28,75° C y velocidad del viento 0,91 m/s. El 25 % del VEF1 fue <74 %. La correlación PM<sub>10</sub> interior y exterior fue positiva, 0,197 (p=0,029) y entre PM<sub>10</sub> interior y velocidad del viento negativa -0,215 (p=0,017). Se encontró débil relación positiva entre el volumen espiratorio forzado y el PM<sub>10</sub> interior y exterior.

**Discusión** Los resultados sugieren que la contaminación interior de las viviendas proviene de las emisiones de automotores, combustión industrial, y vías destapadas. El PM<sub>10</sub> disminuyó con el aumento de la lluvia, la humedad relativa y el viento.

**Palabras Clave:** Material particulado, contaminación ambiental, contaminación del aire y enfermedad pulmonar obstructiva crónica (*fuentes: DeCS, BIREME*).

### ABSTRACT

**Objective** Exploring the relationship between PM<sub>10</sub> intra- and extra-domiciliary levels and the lung function of people living in La Sierra, Antioquia, Colombia.

**Materials and Methods** A survey and field observations were used for determining the environmental conditions and the immediate household environment of 124 people who had taken a spirometric test. Meteorological conditions were monitored: temperature,

relative humidity, rainfall, wind speed and  $PM_{10}$  (24 hours) within and outside the houses.

**Results** Indoor  $PM_{10}$  (0.05 mg/m<sup>3</sup>) in 50 % of the houses was <outdoor  $PM_{10}$  (0.06 mg/m<sup>3</sup>); there was 79.08 % relative humidity, 33.03 mm rainfall, 28.75°C and 0.91 m/s wind speed. 25% of forced expiratory volume in 1 second (FEV1) was <74 %. There was a positive correlation between indoor and outdoor  $PM_{10}$  (0.197: p=0.029) and a negative correlation between indoor  $PM_{10}$  and wind speed (-0.215: p=0,017). A weak positive relationship was found between FEV1 and indoor and outdoor  $PM_{10}$ .

**Discussion** The results suggested that indoor pollution came from automobile emission, industrial combustion and unpaved roads (i.e. producing a lot of dust).  $PM_{10}$  decreased with increasing rain fall, higher relative humidity and increased wind speed.

**Key Words:** Particulate matter, environmental contamination, air pollution, chronic obstructive pulmonary disease (*source: MeSH, NLM*).

Según la ISO 7708, el Material particulado (PM, por sus siglas en inglés) es un contaminante del aire, compuesto por una mezcla de sustancias suspendidas en el aire, orgánicas, inorgánicas, sólidas, líquidas o ambas; varían en tamaño, composición y origen, se clasifican según tamaño y habilidad de penetración en el sistema respiratorio en fracción gruesa, (tamaño  $\geq 10 \mu m$ ) se depositan casi exclusivamente en nariz y garganta; fracción torácica o inhalable,  $PM_{10}$  (partículas  $\leq 10 \mu m$ ), pueden alcanzar la parte superior de las vías respiratorias y el pulmón.

#### Evidencias epidemiológicas del PM

Los últimos 70 años se ha venido recopilando evidencia epidemiológica de la relación contaminación del aire y efectos en salud. Las primeras surgieron con los episodios de contaminación del valle del Mosa, Bélgica (1931); Donora, Pensilvania, EE.UU (1948) y Londres, Inglaterra (1952). Donde resultó obvia la asociación entre exposiciones elevadas a partículas y/o bióxido de azufre y la morbi-mortalidad cardiopulmonar (1,2).

La exposición a concentración elevada de contaminantes en cortos periodos de tiempo (exposición aguda), puede incrementar el riesgo que personas en estado débil (enfermas, mal alimentadas, niños y personas de la tercera edad), alcancen la muerte (3) y, se han asociado efectos relacionados a exposiciones de corta duración como inflamación del pulmón, síntomas respiratorios, efectos adversos sobre el sistema cardiovascular y visitas a salas de urgencia y admisiones hospitalarias (4-11).

Ostro encontró en algunas ciudades de Estados Unidos, que un incremento en 10 µg/m<sup>3</sup> en la concentración promedio de PM<sub>10</sub>, aumentaba 1 % la mortalidad general (12), mientras OMS indica que a escala mundial, un aumento entre el 4 y 8 % en las muertes prematuras diarias y, entre el 20 y 30% de las enfermedades respiratorias se deben a la exposición a PM en ambientes exteriores e interiores, especialmente en éstos últimos (13).

En diferentes ciudades europeas se encontró que cambios en 10 µg/m<sup>3</sup> en la concentración de PM<sub>10</sub> en cortos periodos de tiempo, incrementaban 0,6 % la mortalidad general, 1,3 % mortalidad por enfermedades respiratorias, 0,9 % mortalidad por enfermedades cardiovasculares, 0,7 % admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias (personas >65 años) y 0,5 % en uso de medicamentos en niños entre 5 y 15 años, con síntomas crónicos respiratorios (14).

Entre tanto, en América Latina se han desarrollado diferentes estudios para evaluar el efecto de la contaminación del aire en la salud (15). Chile reportó aumento de 0,8 % en la mortalidad diaria y en México un aumento en 0,5 %, debido al incremento de 10 µg/m<sup>3</sup> en la concentración de estas partículas (16). Colombia estimó en el año 2004, a partir de información secundaria, que el material particulado causó alrededor de 6 000 muertes prematuras, 7 400 nuevos casos de bronquitis crónica, 13 000 hospitalizaciones, 255 000 visitas de emergencia anuales en los grandes núcleos urbanos del país y en términos económicos, este escenario corresponde a 1,5 billones de pesos promedio anual, donde el 65 % está asociado con mortalidad y 35 % con morbilidad; entre tanto para ambientes interiores se estimó que 1 100 muertes están relacionadas con exposición a contaminantes del aire, asociados al uso de leña, carbón y otros combustibles sólidos como fuentes primarias para cocinar (17).

Así mismo, el consumo de combustibles fósiles, quema de biomasa y residuos, actividades económicas como carpintería, cerrajería, fabricación de alimentos en viviendas, hábitos como fumar y el transporte de contaminantes del exterior hasta el interior de las viviendas, exponen a la población a concentraciones de partículas en suspensión, por lo que la OPS afirmó que la contaminación del aire en interiores se ha constituido en un problema de salud pública relevante, relacionado con el incremento en el riesgo de contraer infecciones respiratorias agudas en el tracto inferior de los niños y obstrucción crónica de los pulmones en adultos, especialmente en países en vía de desarrollo, como Colombia, donde las mujeres y los niños son los

más expuestos; las mujeres a cargo de las tareas domésticas que involucran el uso de la energía y los niños a menudo acompañan a sus madres durante esas tareas (15).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Estudio descriptivo de corte transversal (18), para explorar posible relación entre enfermedades de tipo respiratorio (función pulmonar) y el factor de riesgo ( $PM_{10}$ ). El estudio se realizó en el corregimiento La Sierra, municipio Puerto Nare, con altitud promedio 127 m.s.n.m, temperatura promedio 28° C y humedad relativa 81 %. Economía soportada en procesos de minería aurífera, industria petrolera y producción de cal y cemento (blanco y gris), con actividades que emiten PM a la atmósfera, además considerable porcentaje de vías no pavimentadas o en mal estado y alto flujo vehicular (19).

En este corregimiento estudios realizados por la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, CORANTIOQUIA, concluyeron que en diferentes puntos se presentaron episodios de contaminación que excedieron los estándares nacionales de calidad del aire para partículas  $PM_{10}$  (150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  promedio diario; 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  promedio anual. Resolución 601 de 2006 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), alcanzando concentraciones diarias alrededor de 127  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y que, el 27 % de las personas evaluadas de la comunidad, no laboralmente expuestas, tenían riesgo de sufrir enfermedad pulmonar obstructiva crónica-EPOC (alteración relacionada con la exposición a  $PM_{10}$ ) y que el 19,4 % de la población presentó volumen espiratorio forzado en el primer segundo (VEF1) por debajo del 80 % (20).

Como población objeto de estudio, se tomaron los 264 habitantes que participaron en el trabajo desarrollado por CORANTIOQUIA, de donde se obtuvo muestra probabilística de 118 viviendas (I.C.95%), a la cual se adicionó un 10% para mejorar la precisión, llegando a una muestra final de 124 viviendas, las cuales no debían haber sido remodeladas en los últimos 2 años.

### Información primaria

Se llevaron a cabo mediciones de concentración de  $PM_{10}$ , entre el 28 de marzo y el 24 de abril de 2010, en diferentes puntos del casco urbano del corregimiento, instalando 2 bombas de monitoreo personal en cada una de las viviendas objeto de estudio, una adentro y otra afuera por espacio de 24 horas. Bomba marca GILAIR-3; previamente calibradas y verificadas (caudal 1,7 l/min), según metodología 0600 de la NIOHS.

Además, se levantó información sobre condiciones físicas y ambientales de las viviendas, de, su entorno inmediato y, de los hábitos o comportamiento de sus habitantes, mediante aplicación de una encuesta técnica al adulto cabeza de familia en cada vivienda seleccionada. Encuesta diseñada, consensuada y homogenizada por diferentes expertos (profesores de las Facultades, Nacional de Salud Pública e Ingeniería, Universidad de Antioquia, la Universidad Nacional e integrantes de la Red de Calidad de Aire del Valle de Aburrá-REDAIRE-). Instrumento de preguntas cerradas, dicotómicas y de múltiples variables.

La información relacionada con las condiciones de las viviendas se organizó según datos generales: tipo de vivienda, número de pisos, habitaciones y personas residentes: según condiciones físicas: materiales de construcción, ventilación, tipo de energía o combustible y disposición de residuos; según hábitos o costumbres relacionadas con las condiciones ambientales de las viviendas: fumadores, mascotas y/o fabricas al interior y según condiciones alrededor de las viviendas: tipo de vías, industrias cercanas, canchas en arenillas, flujo vehicular, quema de residuos entre otros.

#### Información secundaria

Respecto a la información general (edad, género, sexo y ocupación) y los parámetros de salud (espirometría) de las personas que habitaban las viviendas objeto de estudio, se utilizó la información suministrada por CORANTIOQUIA (20).

#### Análisis Estadístico

Se realizó en dos fases: la primera exploratoria y la segunda de correlación.

#### Análisis exploratorio

Con ayuda del software SPSS versión 18, las variables discretas o categóricas, como la edad y género, entre otras, se determinó el número de casos en cada categoría expresadas en porcentajes, para las continuas, se estableció la tendencia central, con el fin de prever si el conjunto de datos se agrupaban o dispersaban alrededor de un valor central. Posteriormente, se aplicó la prueba de Kolmogorov Smirnov, para evaluar la normalidad de los datos de cada variable, con el propósito de definir la estrategia estadística a seguir (paramétrica o no paramétrica).

### Análisis comparativo y de correlación

Con los resultados del análisis exploratorio y luego de verificar si existe o no normalidad de los datos, se aplicaron las pruebas de comparación y correlación. Como resultado se encontró que los datos no siguieron una distribución normal, por lo cual, para comparar las variables cualitativas de dos categorías se utilizó el estadístico U de Mann Withney y, para más de dos categorías se utilizó el estadístico de Kruscal Wallis. Cuando se compararon las variables cuantitativas, se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman, y la prueba de Chi cuadrado de independencia cuando se exploraron algunas asociaciones entre variables cualitativas.

## RESULTADOS

### Información general y hábito de las personas encuestadas

Se encontró que el 71 % eran mujeres, con edad promedio de 40 años y ocupación predominante ama de casa (53,2 %), de los hábitos se rescata que el 98,4 % de los encuestados entregaba los residuos sólidos a la entidad prestadora del servicio de aseo, el 62,1 % poseía al menos una animal de compañía y el 27,4 % aseguró haber fumado dentro de la vivienda en la semana anterior a la aplicación de la encuesta. Al considerar sólo aquellas residencias donde se presentó tabaquismo, en el 50 % se había fumado 70 cigarrillos o menos en la última semana. Se halló un bajo porcentaje (5,6 %) de viviendas con actividades informales, como: fábricas de arepas (2,4 %), talleres de pintura y mecánica (1,6 %) y otros (1,6 %).

### Condiciones físicas de la vivienda

El 96,8 % de las viviendas fueron tipo casa de solo un nivel, con predominio de dos cuartos disponibles para dormir, el 75 % de éstas tenían a lo sumo tres habitaciones y en promedio 3 habitantes. Respecto al área construida, el 57 % tenía de 36 a 70 m<sup>2</sup>, con predominio de techos en madera con teja de zinc (54 %), mampostería en adobe de cemento (70,2 %) y pisos en concreto simple con o sin esmaltado (87,1 %). En cuanto a la ventilación, se consideró la opción mecánica (99,2%) con la presencia de ventiladores y la natural, que hace referencia al intercambio de aire entre el interior y exterior de la vivienda, en cuanto al uso de energía o combustible para cocinar, la mayoría (98,4 %) utilizaba gas natural y la cocina ubicada al interior de las viviendas (96,8 %).

De las condiciones ambientales del entorno de las viviendas el 60 % de los casos presentó incidencia directa de actividades industriales, vías no pavimentadas, zonas de alto flujo vehicular o una combinación de ellas, entre

tanto el 22,6 % estaban afectadas por las quemadas, el 83 % de las viviendas tenían árboles en su entorno inmediato.

#### Niveles de PM<sub>10</sub> en las viviendas

El 50 % de las viviendas presentó una concentración de PM<sub>10</sub> interior < PM<sub>10</sub> exterior, Tabla 1 y, para determinar el grado de correlación entre las concentraciones de PM<sub>10</sub> intra y extra domiciliaria, se aplicó el estadístico de Spearman (0,197, p=0,029), encontrándose que la mayoría de datos se aglutinaron en valores bajos de concentración (0,09 y 0,11 mg/m<sup>3</sup>), con algunos puntos altos tanto al exterior como al interior de las viviendas.

En las viviendas donde se encontró hábito de fumar, la concentración de PM<sub>10</sub> se superó en 0,03 mg/m<sup>3</sup>. Los hogares próximos a vías no pavimentadas o en mal estado presentaron concentraciones promedio diarias de 0,22 mg/m<sup>3</sup>, valor que sobrepasa en 150 % las concentraciones en viviendas próximas a vías pavimentadas (0,09 mg/m<sup>3</sup>). Las viviendas cercanas a vías de alto flujo vehicular, superaron en 0,02 mg/m<sup>3</sup>, a aquellas con escaso tránsito automotor, 0,06 y 0,04 mg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

**Tabla 1.** Concentración de PM<sub>10</sub> intra y extra domiciliaria

Contaminante (mg/m <sup>3</sup> )	□	Me	Mo	DE	Máx	P25	P75
PM <sub>10</sub> interior	0,096	0,05	0,02	0,14	0,86	0,03	0,09
PM <sub>10</sub> exterior	0,083	0,06	0,06	0,09	0,53	0,02	0,11

#### Variables meteorológicas

Se encontró una precipitación de 25,8 mm de agua o menos, valor relativamente alto correspondiente a períodos lluviosos según el IDEAM, la humedad relativa presentó valores de presión de saturación de vapor entre 72 y 88 %, donde el 50 % de los registros mostró una presión de vapor de 78 % o menos y, la temperatura promedio de 28,5°C o menos. Las relaciones entre las variables meteorológicas, humedad relativa, lluvia, temperatura, velocidad del viento y, concentración de PM<sub>10</sub> interior y exterior, son indicadas en la Tabla 2, y aunque fueron bajas, los coeficientes de correlación tienen significado lógico del comportamiento de la contaminación con estas variables, es decir, a medida que aumenta la humedad relativa, la velocidad del viento y la lluvia, disminuye la concentración de la contaminación interior y exterior, mientras que al aumentar la temperatura se espera que aumente la contaminación.

#### Contaminación intra y extradomiciliaria vs. función pulmonar

Se definió como alterado el Volumen Espiratorio Forzado en el primer segundo (VEF1) aquellos valores <80 %, utilizando el criterio del Global

Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD). Al correlacionar VEF1 con las variables ambientales PM<sub>10</sub> interior y exterior a las viviendas se encontró, que aunque es positiva tiene muy poca fuerza de asociación (0,004 y 0,049 respectivamente).

**Tabla 2.** Matriz de Correlaciones variables atmosféricas y concentración de PM<sub>10</sub> intra y extradomiciliario. Corregimiento la Sierra-Puerto Nare, Antioquia 2010

Variable		Concentración de PM <sub>10</sub> interior	Concentración de PM <sub>10</sub> exterior
Humedad relativa	Coefficiente de correlación	-0,072	-0,202
	Sig. (bilateral)	0,427	0,025
Lluvia	Coefficiente de correlación	-0,014	-0,199
	Sig. (bilateral)	0,918	0,144
Temperatura	Coefficiente de correlación	0,14	0,215
	Sig. (bilateral)	0,121	0,016
Concentración de PM <sub>10</sub> exterior	Coefficiente de correlación	0,197	1
	Sig. (bilateral)	0,029	
Velocidad del viento	Coefficiente de correlación	-0,215	-0,142
	Sig. (bilateral)	0,017	0,115

La alteración en el VEF1 se relacionó con sexo, ocupación y hábito de fumar y se encontró, que es mayor la alteración en las mujeres (39,8 %), amas de casa (39,4 %) y personas que no fumaban (32,4 %), las diferencias encontradas por sexo fueron significativas estadísticamente, como se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Relación entre el volumen espiratorio forzado y PM<sub>10</sub> intra y extradomiciliario. Corregimiento la Sierra, Puerto Nare, Antioquia. 2010

Variable		Volumen Espiratorio Forzado				Valor p (Prueba chi cuadrado)
		<80 %		≥80 %		
		Frecuencia	%	Frecuencia	%	
Sexo	Hombre	3	8,3	33	91,7	0,001
	Mujer	35	39,8	53	60,2	
Ocupación	Ama de casa	26	39,4	40	60,6	0,068
	Estudiante	5	26,3	14	73,7	
	Oficios Varios	2	18,2	9	81,8	
	Otros	3	12,5	21	87,5	
Fuma	Si	4	21,1	15	78,9	0,324
	No	34	32,4	71	67,6	
Total		38	30,6	86	69,4	

Se comparó la alteración VEF1 con la edad y la concentración PM<sub>10</sub> interior y exterior y, se encontró que, eran más adultas las personas con alteración, la mediana de la edad fue de 42 años comparado con 36 años en las personas con VEF1 ≥80 %. En relación con la concentración PM<sub>10</sub> interior, se observó, que era mayor en las viviendas de personas con alteración (Me 0,06) comparado con las personas cuyo VEF1 ≥80 % (Me 0,05), las medianas de la concentración PM<sub>10</sub> exterior son iguales para ambos grupos (Me 0,06).



## DISCUSIÓN

De las características de la población estudiada se resalta que el mayor número de personas, eran de sexo femenino y la principal ocupación ama de casa, lo cual muestra que los datos son representativos de la población estudiada en el 2008 (20).

De las condiciones físicas de las viviendas se encontró que la proporción de viviendas tipo casa, está por encima del promedio nacional (74,6 %) (21). El 50 % cuenta con dos habitaciones o menos para dormir, situación similar a la encontrada en la Encuesta Nacional de Salud-ENS y, el número de habitantes por vivienda (3) se encuentra por debajo del porcentaje nacional (3,9 %); el 56,5 % de las viviendas estaba en el rango de vivienda bifamiliar(22).

Se destaca el predominio de techos en estructura en madera con teja de zinc, paredes en adobe de cemento, que concuerda con el porcentaje (85,6 %) encontrado en la ENS, el porcentaje de acabado de pisos es mayor que el reportado en dicha encuesta (32,3 %) pero aproximado a lo encontrado en el departamento del Guainía (86,3 %).

La ventilación se consideró buena, gracias a que las puertas y ventanas permanecían abiertas durante más de 12 horas al día, condición que se traduce en equilibrio entre los niveles adentro y afuera (23); entretanto los niveles de PM<sub>10</sub> fueron altos en periodos nocturnos cuando puertas y ventanas permanecían cerradas (24). Así mismo, “las actividades al interior de las residencias y la mala calidad de la ventilación son responsables de los altos niveles de concentración de material particulado al interior” (25), dando indicios de que la contaminación al interior pueda provenir del aire exterior, pues en las viviendas que no contaban con ventilación natural, la concentración al interior presentó valores más altos.

No se observaron fuentes importantes de contaminación interior, al no utilizar leña o carbón, considerados los contaminantes más importantes en espacios interiores (26,27) por lo que se sugiere que la contaminación al interior de las viviendas del corregimiento, provenía de la infiltración de aire contaminado del exterior, generado principalmente a partir del polvo en suspensión y en procesos de combustión de las industria y vehículos, además de la incineración de basura (27).

No se encontraron diferencias estadísticas relacionadas con el hábito de fumar, pero se puede decir de estudios anteriores, que cuando se fuma en

las viviendas se aumenta el nivel de concentración de  $PM_{10}$ . Una fuente mayor de masa de  $PM_{10}$  al interior puede ser atribuida al humo del tabaco (Environment Tobacco Smoking, ETS) (26) en el cual se encontraron diferencias significativas entre casas con y sin fumadores (24).

En viviendas donde existe alrededor alto flujo vehicular, la concentración de  $PM_{10}$  interior es mayor que las que no; lo que puede sugerir que la contaminación al interior de las viviendas proviene del ambiente exterior, como lo observado en la zona urbana de Altsasu/Alsasua (28), que reportó un claro predominio del tráfico y de una fuente cementera, como principales responsables de la contaminación observada, coincidiendo con YL. Cheng (26), quien encontró que las emisiones de automotores y caminos en tierra son un factor que contribuye a elevar la concentración de  $PM_{10}$  en las casas cerca de las carreteras; Wan-kuen (29), cita a Fischer et al, 2000 quienes reportaron un aumento de dicha concentración al interior de viviendas cercanas a zonas de tráfico pesado, debido principalmente al aumento de las concentraciones del aire exterior.

Como la contaminación por  $PM_{10}$ , es afectada por variables meteorológicas como la precipitación, la humedad, la temperatura y la velocidad del viento, se encontró que en los periodos lluviosos la contaminación descendió al interior y exterior de las viviendas, lo cual concuerda con lo que refiere Chak (30), la lluvia es el mejor camino para remover los contaminantes del aire.

Igual comportamiento se observó en el cruce de la concentración de  $PM_{10}$  interior y exterior con la humedad relativa, y la velocidad del viento, dado que cuando aumentaron éstas variables, disminuyeron las concentraciones de  $PM_{10}$  al interior y exterior de las viviendas. Al respecto Grivas (31), describió que los altos valores de  $PM_{10}$  ocurren durante periodos de bajo flujo de viento, lo cual empeora la dispersión de las masas de aire en el ambiente, y Chak (30) refiere que la concentración de los contaminantes del aire generalmente decrece con el incremento de la velocidad del viento. También Song Yu (32) afirma que, una velocidad del viento alta, es causa dominante de la reducción de los niveles de contaminación.

Finalmente la correlación con la temperatura, muestra una fuerza de asociación positiva con ambas concentraciones, donde es mayor con el  $PM_{10}$  exterior. Resultados que se apoyan con lo encontrado por Grivas (31), cuando reportó que en periodos calientes el aumento del  $PM_{10}$  fue debido a la re suspensión del polvo del suelo.

Cuando se cruzaron PM<sub>10</sub> intra y extradomiciliario se encontró correlación positiva, Adonis(27) encontró como principal fuente de contaminación de espacios interiores en el centro de Santiago de Chile la infiltración de la contaminación atmosférica del exterior que la calidad del aire interior es con frecuencia tanto o más mala que la de exteriores, pudiendo implicar grave peligro para la salud humana; Gil (33), definió “el aire de espacios interiores tiene una gran cantidad de contaminantes físicos, químicos y biológicos que son liberados por diversas fuentes, entre ellos el aire exterior”. Entre tanto Wan(29) encontró que en apartamentos de pisos bajos cerca carreteras, las personas están más expuestas a altos niveles de concentración exterior por emisión vehicular.

Con relación al volumen espiratorio forzado se encontró, muy débil relación positiva con el PM<sub>10</sub> interior y el exterior (0,004 y 0,048), lo que puede sugerir que las personas involucradas no presentan diferencias en la función pulmonar (VEF1) asociadas con la exposición a PM<sub>10</sub>, en concordancia Niguel (34) encontró, en estudios espirométricos reportes de diferencias en la función pulmonar, asociadas al humo de madera. Además Pandey reportó una relación exposición-respuesta con VEF1 y CVF que decreció con el aumento de la exposición a PM<sub>10</sub>, siendo no estadísticamente significativo en los no fumadores.

Sin embargo Forbes et al (35), reportaron que estudios transversales soportan la idea que la exposición crónica a la contaminación del aire reduce la función pulmonar en adultos, pero el tamaño del efecto y cuales contaminantes son responsables, aún no está claro •

**Agradecimientos:** Los autores agradecen los aportes de los grupos de Investigación y Desarrollo: Salud y Ambiente y Salud Ocupacional, así como del fondo de apoyo docente del Centro de Investigaciones, Facultad Nacional de Salud Pública, Universidad de Antioquia.

## REFERENCIAS

1. Schwartz J. Air Pollution and Daily Mortality: A Review and Meta Analysis. Environmental Research. 1994; 64: 36-52.
2. U.S. EPA. Air Quality Criteria for Particulate Matter (Final Report, April 1996). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., EPA 600/P-95/001.
3. Health Effects Institute - HEI. Understanding the health effects of components of the particulate matter mix: progress and next steps. [Internet]. [Consultado 2010 May 26]. Disponible en: <http://pubs.healtheffects.org/getfile.php?u=244>.
4. Pope CA, Dockery DW, Spengler JC, Raizenne ME. Respiratory Health and PM<sub>10</sub> Pollution: A Daily Time Series Analysis. Am Rev Respir Dis. 1991 Sep; 144 (3 Pt 1): 668-674.

5. Dockery DW, Pope CA, Xu X, Spengler JD, Ware JH, Fay ME, Ferris BG Jr, Speizer FE. An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities. *N Engl J Med.* 1993 Dec; 329 (24): 1753-1759.
6. Schouten J, Vonk J, Graff A. Short term effects of air pollution on emergency hospital admissions for respiratory disease: Results of the APEHA project in two major cities in the Netherlands. *Journal Epidemiology Common Health.* 1996; 50 (11): S22-S30.
7. Schwartz J. Air pollution and hospital admissions for cardiovascular disease in Tucson. *Epidemiology Resources Inc.* 1997; 8: 371-377.
8. Borja VH, Loomis DP, Bangdiwala SI, Shy CM, Rascon RA. Suspended particulates, and daily mortality in Mexico City. *American Journal of Epidemiology.* 1997; 145: 258-268.
9. Lipsett M, Hurley S, Ostro B. Air pollution and emergency room visits for asthma in Santa Clara County California. *Environ Health Perspect.* 1997 Feb; 105 (2): 216- 222.
10. Hernández L, Téllez MM, Sanín LH, Lacasaña M, Campos A, Romieu I. Relación entre consultas a urgencias por enfermedad respiratoria y contaminación atmosférica en Ciudad Juárez, Chihuahua. *Salud Pública de México.* 2000 Jul-Ago; 42 (4): 288-297.
11. World Health Organization. Particulate matter air pollution: how it harms health. [Internet]. Disponible en: <http://www.chaseireland.org/Documents/WHOParticulateMatter.pdf>. Consultado Mayo de 2010.
12. Ostro, BD. Estimating the Health Effects of Air Pollutants: A Model with an Application to Jakarta. Washington D.C: World Bank, Policy Research Department; 1994. [Internet]. Disponible en: <http://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=PQN8zzHHXJAC&oi=fnd&pg=>. Consultado Junio de 2010.
13. Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del aire. [Internet]. Disponible en: <http://cdam.minam.gov.pe:8080/bitstream/123456789/114/1/CDAM0000017.pdf>. Consultado Junio de 2010.
14. Anderson H, et al. SE COLOCA Meta-analysis of time-series studies and panel studies of particulate matter (PM) and ozone (O3). Report of a WHO task group. [Internet]. Disponible en: [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0004/74731/e82792.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/74731/e82792.pdf). Consultado Junio de 2010.
15. Organización Panamericana de la Salud – OPS. Evaluación de los Efectos de la Contaminación del Aire en la Salud de América Latina y el Caribe. [Internet]. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsea/fulltext/contaminacion/contaminacion.pdf>. Consultado Junio de 2010.
16. Ostro B. Cómo estimar los efectos de la contaminación atmosférica en la salud. Estudios Públicos [Internet]. [Consultado 2010 Jun 06]. Disponible en: [www.cepchile.cl/dms/archivo\\_1630\\_326/](http://www.cepchile.cl/dms/archivo_1630_326/)
17. Larsen, B. Cost of Environmental Damage: A Social-Economic and Environmental Health Risk Assessment. [Internet]. Disponible en: [http://www.upme.gov.co/Upme12/2007/Upme13/ Presentacion\\_MINAMBIENTE.pdf](http://www.upme.gov.co/Upme12/2007/Upme13/ Presentacion_MINAMBIENTE.pdf). Consultado Junio de 2010.
18. Mazuera M. Curso modular de Epidemiología Básica. 3. Ed. Medellín: María Eugenia Mazuera del Hierro, editores; 1998.
19. Puerto Nare. [internet]. Disponible en: <http://www.puertonare.gov.co>. Consultado Julio 2010.
20. Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia–CORANTIOQUIA- y Universidad de Antioquia. Calidad del aire e impacto en las condiciones socioambientales de la población del corregimiento La Sierra, municipio de Puerto Nare. Contrato interadministrativo 7786. 2008 Oct: 72, 33, 91 y 97.
21. Ministerio de la Protección Social. Encuesta Nacional de Salud 2007. [Internet]. Disponible en: [http://www.scp.com.co/ArchivosSCP/boletines\\_Pedianet/DocumentosPedianet/Encuesta\\_Nacional\\_de\\_Salud\\_2007.pdf](http://www.scp.com.co/ArchivosSCP/boletines_Pedianet/DocumentosPedianet/Encuesta_Nacional_de_Salud_2007.pdf). Consultado Mayo de 2010.
22. Colombia. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto 2060 de 2004 Por el cual se establecen normas mínimas para vivienda de interés social urbana. Diario Oficial, 45590 (Jun. 25 2004).

23. MonnCh, Fuchs A, Högger D, Junker M, Kogelschatz D, Roth N, Wanner HU. Particulate matter less than 10  $\mu\text{m}$  (PM<sub>10</sub>) and fine particles less than 2.5  $\mu\text{m}$  (PM<sub>2.5</sub>): relationships between indoor, outdoor and personal concentrations. Elsevier. 1997 Sep; 208: 15-21.
24. Colbeck I, Nasir ZA, Ali Z. Characteristics of indoor/outdoor particulate pollution in urban and rural residential environment of Pakistan. *Indoor air*. 2010; 20: 40-51.
25. Gadkari M, Shams P. Source investigation of personal particulates in relation to identify major routes of exposure among urban residents. *Atmospheric Environment*. 2007 Jun; 41: 7951-7963.
26. Cheng YL, Yan M, Li JL, Bai YH, Tian W, Wu DG, Cheng Q. Variations in Indoor PM<sub>10</sub> Concentrations in Sixteen Homes in Guiyang City, People's Republic of China. *Bull Environmental Contamination and toxicology*. 2006; 77: 112-118.
27. Adonis M, Cáceres D, Moreno G, Gil L. El caso del centro de Santiago: Contaminación del aire en espacios interiores. *Ambiente y Desarrollo*. 1995 Mar; 13 (1): 79-89.
28. Zabalza J, Santamaría JM, Alastuey A, Querol X. "Diagnóstico de contribución en fuentes en PM<sub>10</sub> en la zona urbana de Altsasu/Alsasua: Niveles y composición de PM<sub>10</sub>". [Internet]. Disponible en: <https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/11881E8D-5B83-4A78-BB8E-281B7AE44 E23/132277/RESUMENAlsasua.pdf>. Consultado Julio de 2010.
29. Jo WK, Lee JY. Indoor and outdoor levels of respirable particulates (PM<sub>10</sub>) and carbon monoxide (CO) in high-rise apartment buildings. *Atmospheric Environment*. 2006 May; 40: 6067-6076.
30. Chan CK, Xiaohong Y. Air pollution in mega cities in China. *Atmospheric Environment*. 2008; 42: 1-42.
31. Grivas G, Chaloulakou A, Samara C, Spyrellis N. Spatial and temporal variation of PM<sub>10</sub> mass concentrations within the greater area of Athens, Greece. *Water, air, and Soil Pollution*. 2004 May; 158: 357-371.
32. Yu S, Zhang M, Cai X. PM<sub>10</sub> Modeling of Beijing in the winter. *Atmospheric Environment*. 2006 Jul; 40 (22): 4126-4136.
33. Gil HL, Cáceres D, Quiñones L, Adonis M.: Contaminación del aire en espacios exteriores e interiores en la ciudad de Temuco. *Ambiente y Desarrollo*. 1997 Mar; 13 (1): 70-78.
34. Bruce N, Pérez R, Albalak R. Indoor air Pollution in developing countries: a major environmental and public health challenge. *Bulletin of the World Health Organization*. 2000; 78 (9): 1078-1092.
35. Forbes JL, Kapetanakis V, Rudnicka AR, Cook DG, Bush T, Stedman JR, Whincup PH, Strachan DP, Anderson HR. Chronic exposure to outdoor air pollution and lung function in adults. *Thorax*. 2009 Aug; 64 (8): 657-663.