

Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud de adultos que laboran en diferentes niveles de exposición

Air pollution and its effects in adults working at different levels of exposure

Ana Marcela Muñoz D.

Ingeniera química, magíster en salud ocupacional de la Facultad Nacional de Salud Pública, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Cibercorreo: amunoz@guajiros.udea.edu.co

John Jairo Paz V.

Ingeniero ambiental, magíster en salud pública de la Facultad Nacional de Salud Pública, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

Carlos Mario Quiroz P.

Médico, magíster en salud ocupacional de la Facultad Nacional de Salud Pública, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Cibercorreo: cmqp@guajiros.udea.edu.co

Recibido: 9 Abril 2007

Aprobado: 18 Octubre 2007

Muñoz AM, Paz JJ, 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

Resumen

Objetivo: evaluar las diferencias en las condiciones de salud entre grupos de trabajadores expuestos, no expuestos y menos expuestos a contaminación ambiental en el área metropolitana del valle de Aburrá.

Métodos: se realizó una cuidadosa revisión de las mediciones de contaminantes ambientales, precipitación, temperatura y variables demográficas y sociales de los municipios del área metropolitana del Valle del Aburrá y del oriente del departamento de Antioquia (Colombia). Se realizó un estudio transversal de corte. Se seleccionó aleatoriamente una población de 3.500 habitantes. A los individuos seleccionados se les aplicó una encuesta previamente estandarizada y se les estudiaron las pruebas funcionales respiratorias mediante espirometría.

Resultados: se realizaron 400 espirometrías. No se encontraron diferencias significativas entre los dos grupos en cuanto a

edad, sexo, consumo de cigarrillo y estrato socioeconómico. Las partículas suspendidas totales (PST) están frecuentemente por encima de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Igual sucede con material particulado inferior a 10 micras (PM_{10}). Los no expuestos tienen una mejor relación volumen expiratorio forzado en el primer segundo sobre capacidad vital forzada ($\text{VEF1}/\text{CVF}$), en 3,1%. Se evidenció un exceso de riesgo de sufrir afecciones obstructivas pulmonares entre los expuestos frente a los no expuestos de 68% RR 1,68 IC (1,19–2,36).

Conclusiones: la calidad del aire del área metropolitana del Valle del Aburrá no es buena. Hay un exceso de riesgo en los expuestos a contaminación de sufrir afecciones obstructivas pulmonares.

----- *Palabras clave:* espirometría, contaminación ambiental, partículas suspendidas totales, PM_{10}

Summary

Objective: to test the differences in health conditions between groups of exposed and non exposed workers to environmental pollution in the metropolitan area of Aburrá Valley.

Methods: a careful revision of the measurements of environmental pollution agents, precipitation, temperature and sociodemographic variables of the municipalities of the metropolitan area of Aburrá Valley and the eastern region of the department of Antioquia (Colombia) was accomplished. A cross-sectional study was made. A random selection of a population of 3.500 inhabitants was done. A previously standardized survey was applied to selected individuals and respiratory functional tests were also administered to them by means of spirometry.

Results: four hundred spirometries were made. Non significant differences between the two groups were found according to age, sex, smoking habit, consumption and socioeconomic level. Total suspended particles are over $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and the same applies to the PM_{10} . The workers not exposed have a better relation $\text{VEF1}/\text{VCF}$ (3.1%). A high risk excess to suffer lung obstructive affections between non exposed workers vs. exposed workers: 68%, RR 1,68 IC (1,19–2,36).

Conclusion: air quality in the metropolitan area of Aburrá Valley is not good. There is a risk excess in people exposed to pollution of suffering lung obstructive affections.

----- *Key words:* spirometry, environmental pollution, total suspended particles (TSP)

Introducción

La contaminación del aire es una amenaza aguda, acumulativa y crónica para la salud humana y otros aspectos del bienestar humano y el ambiente. Puede provocar o agravar afecciones respiratorias y cardíacas. Además de ser especialmente dañina para personas con enfermedades pulmonares o cardíacas crónicas, mujeres embarazadas, ancianos y niños, también representa un riesgo para los trabajadores expuestos y la población pobre que trabaja en las calles y vive en condiciones precarias.

El Banco Mundial, en su iniciativa de aire limpio, y la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el Plan Regional sobre Calidad del Aire Urbano y Salud para el período 2000–2009, plantean dentro de sus planes de acción la vigilancia del impacto de la contaminación del aire sobre la salud. Así, países como Chile y México tienen normatividad de obligatorio cumplimiento en la vigilancia y el control de las fuentes de factores de riesgo y efectos relacionados (Decreto Supremo N.º 185 de los ministerios de minería, agricultura y salud y NOM-097-ECOL-1995, respectivamente).

Coincidiendo con la publicación de sus nuevas *Directrices sobre la calidad del aire*, que reducen mucho los niveles permisibles de sustancias contaminantes, la OMS pide a los gobiernos de todo el mundo mejorar la calidad del aire de sus ciudades para proteger la salud de la población. Cree la Organización que si se reducen los niveles de un tipo de contaminante —las partículas en suspensión de diámetro inferior a 10 micrómetros (PM_{10})—, la cifra anual de fallecidos en las ciudades contaminadas podría descender hasta el 15%. Las directrices también reducen considerablemente los límites recomendados de ozono y dióxido de azufre.

Ante la proliferación de pruebas sobre el impacto de la contaminación atmosférica en la salud, la OMS ha revisado y ampliado sus directrices sobre la calidad del aire ya en vigor para Europa, elaborando así las primeras aplicables en todo el mundo. Estas nuevas líneas han sido establecidas tras un proceso de consultas en todo el mundo con más de 80 destacados científicos y se basan en el examen de miles de estudios recientes de todas las regiones. Se trata, pues, del estudio más consensuado y actualizado sobre los efectos sanitarios de la contaminación del aire, en el que se recomiendan objetivos en relación con la calidad del aire, cuyo cumplimiento supone una reducción considerable de los riesgos para la salud.

Hay muchos países que carecen de reglamentación en materia de contaminación del aire, lo que hace prácticamente imposible controlar este importante factor de riesgo para la salud. Además, las normas nacionales existentes son muy variables y no garantizan debidamente la protección de la salud humana. Si bien la OMS

acepta la necesidad de que los gobiernos establezcan normas nacionales adaptadas a sus circunstancias particulares, las directrices indican los niveles de contaminación que reducen al mínimo el riesgo para la salud. Así, las nuevas directrices de la OMS constituyen una base científicamente sólida sobre la que todos los países pueden elaborar sus propias normas y políticas de calidad del aire para mejorar la salud de la población.

La contaminación atmosférica por partículas en suspensión (dióxido de azufre, ozono o dióxido de nitrógeno) tiene importantes repercusiones en la salud. Por ejemplo, en la Unión Europea se calcula que las partículas en suspensión más pequeñas, material particulado inferior a 2,5 micras ($PM_{2,5}$), provocan por sí solas una reducción de 8,6 meses en la esperanza de vida del europeo medio. Aunque se considera que las partículas en suspensión son el principal factor de riesgo de la contaminación atmosférica para la salud humana, en las nuevas directrices se recomienda también un nuevo límite diario para el ozono, que pasa de 120 a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Lograr estos niveles será todo un desafío para muchas ciudades, sobre todo de los países en desarrollo y, en particular, en aquellas con gran número de días de sol, donde las concentraciones de ozono alcanzan niveles máximos que provocan problemas respiratorios y ataques de asma.

En cuanto al dióxido de azufre, el nivel máximo permitido ha pasado de 125 a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, pues la experiencia ha demostrado que basta con emprender acciones relativamente sencillas para que sus niveles desciendan rápidamente, con la consiguiente reducción de las tasas de mortalidad y morbilidad infantil. El límite para el dióxido de nitrógeno no se ha modificado, pero alcanzarlo —y evitar así problemas de salud provocados por la exposición, como la bronquitis— seguirá siendo un importante desafío en numerosas zonas donde el tráfico rodado es intenso.

Las directrices proponen objetivos transitorios y progresivos y metas intermedias para mejorar la calidad del aire.

A partir del trabajo sobre la contaminación ambiental realizado durante varios años, la OMS acaba de establecer nuevos objetivos a los que los Estados miembros pueden remitirse para elaborar sus políticas. Los países pueden calcular la distancia que los separa de esos objetivos, estimar los efectos sobre la salud reduciendo tales límites

ha dicho el Dr. Michal Krzyznowski, asesor regional para la calidad del aire de la oficina regional de la OMS para Europa y encargado de coordinar el proceso de actualización de las directrices desde la oficina de la OMS en Bonn.

Según Luis A. Cifuentes, profesor de la Universidad Católica de Chile, los efectos por material particulado respirable en la población se manifiestan principalmente como muertes prematuras, aumento en la frecuencia

de cáncer pulmonar, síntomas respiratorios severos, irritación de ojos y nariz, irritación de vías respiratorias y broncoconstricción. Se suman a estos efectos otros factores de exposición (partículas y gases), pobreza, desigualdad social, hábitos alimenticios, estilos de vida y el contexto socioeconómico, todos los cuales participan en la génesis de la enfermedad.¹

En el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) se tiene información en el campo ambiental de la naturaleza y magnitud de la contaminación por material particulado desde aproximadamente el año 1975, pero no se tiene información cuantificada de la magnitud de los efectos sobre la salud de las personas. En esta región metropolitana no se conoce aún la correlación entre las manifestaciones clínicas en las personas expuestas y las concentraciones ambientales de diferentes contaminantes que se han venido determinando en las estaciones de la ciudad, a pesar de que existen algunos estudios como el realizado por Gómez et al. en 2002.² Tampoco se tiene un modelo que nos permita, de acuerdo con las características existentes en la región, identificar precozmente el riesgo y el exceso de sufrir enfermedades pulmonares o cardíacas y prevenir los efectos por la exposición a los contaminantes.

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo general de este trabajo fue elaborar un análisis de la posible relación existente entre la contaminación atmosférica y los efectos en la salud de los habitantes del área metropolitana del Valle de Aburrá, con base en información secundaria. Se buscó reconocer individuos que fueran sensibles a la mala calidad del aire, que tuvieran condiciones especiales como enfermedades respiratorias y cardiovasculares, en todos los municipios metropolitanos, teniendo en cuenta la diferencia de las concentraciones de los contaminantes. Igualmente, se hizo un análisis basándose en algunos aspectos sociodemográficos de cada población para tener una idea de los impactos por condiciones ambientales.

Metodología

Diseño

Se realizó un estudio transversal de asociación en el cual se examinaron varios grupos de personas en un solo punto en el tiempo en cuanto a las variables de interés: contaminación atmosférica y situación de salud. La primera se realizó estudiando la concentración de los contaminantes material particulado inferior a 10 μm (PM_{10}), monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO_x) y óxidos de nitrógeno (NO_x) y la segunda se hizo teniendo en cuenta las espirometrías realizadas en los municipios del Valle del Aburrá y los municipios de Rionegro, La Ceja, Guarne, El Retiro y el corregimiento de Santa Elena.

Población objeto de estudio

Trabajadores de comercio y talleres de mecánica y otros oficios ubicados en los municipios del Valle de Aburrá, oriente antioqueño y Santa Elena, que tuviesen más de un año de laborar en el sitio en el que se realizó la encuesta. Se excluyeron los menores de 18 años y los que, por impedimentos físicos, no fueran capaces de hacer la espirometría o estuvieran bajo efectos de alcohol o drogas alucinógenas.

Técnicas, procedimientos e instrumentos

Estrategia de muestreo ambiental

Se realizaron visitas de inspección en los municipios de interés ubicados en el Valle de Aburrá y en el oriente antioqueño. Se realizó una caracterización para la ubicación de los equipos de monitoreo ambiental teniendo en cuenta los siguientes factores como fuentes de contaminación:

- fuentes móviles
- vías de flujo vehicular lento
- vías sin pavimentar
- canchas de arenilla
- construcciones en marcha
- quemas permanentes
- estaciones de gasolina
- parqueaderos de buses
- chimeneas
- canteras

Se tuvieron en cuenta las mediciones de material particulado, monóxido de carbono, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno realizadas por el Área Metropolitana desde el año 2000, para estudiar el comportamiento de cada uno de los contaminantes en los municipios de interés.

Mediciones de la situación de salud

Los investigadores se trasladaron al lugar de trabajo de las personas que participaron y allí se les aplicó la encuesta, se realizó la espirometría y las mediciones antropométricas.

Instrumentos y técnicas

Encuesta: para la caracterización de la población y la evaluación de los signos y síntomas de enfermedad cardiopulmonar y de percepción del impacto de la contaminación se utilizó una encuesta que considera, además, el impacto de la contaminación en la vida personal y la magnitud de la contaminación por cada una de las fuentes.

Espirometría: se utilizó un espirómetro (spiroanalyzer ST 95) y todas las espirometrías fueron tomadas por

un médico especialista en salud ocupacional. La calibración del equipo se hizo al terminar cada jornada.

Bomba de muestreo: para la determinación de la concentración del material particulado se utilizaron dos bombas de muestreo personal marca Escort Elf, calibradas previamente en el laboratorio de higiene y salud ocupacional de la Facultad Nacional de Salud Pública con el calibrador de burbuja de marca Gillian.

Plan de análisis: en el manejo estadístico de los datos se utilizó el programa EpiInfo versión 6.1. Para las tablas y los gráficos que presentan de los resultados se utilizó Excel.

Resultados

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial expidió la resolución N.º 601 del 4 de abril de 2006, por la cual se establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión para todo el territorio nacional en condiciones de referencia de 25 °C y 1 atm. de presión. En el artículo 4 se detallan los niveles máximos permisibles para los contaminantes criterio (tabla 1).

No todos los países han establecido una norma anual para PM_{10} ambiental. Colombia fijó recientemente su norma en $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a diferencia de los otros países que han adoptado su norma en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 1. Concentraciones permitidas de los contaminantes según la Resolución 601 del 4 de abril de 2006

Contaminante	Unidad	Límite permisible	Tiempo de exposición
pst	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	Anual
		300	24 horas
PM_{10}	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	70	Anual
		150	24 horas
SO_2	PPM($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,031 (80)	Anual
		0,096 (250)	24 horas
		0,287 (750)0	3 horas
NO_2	PPM($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,053 (100)	Anual
		0,08 (150)	24 horas
		0,106 (200)	1 hora
O_3	PPM($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8,8 (10)	8 horas
		35 (40)	1 hora
co	PPM($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		10 horas
			1 hora

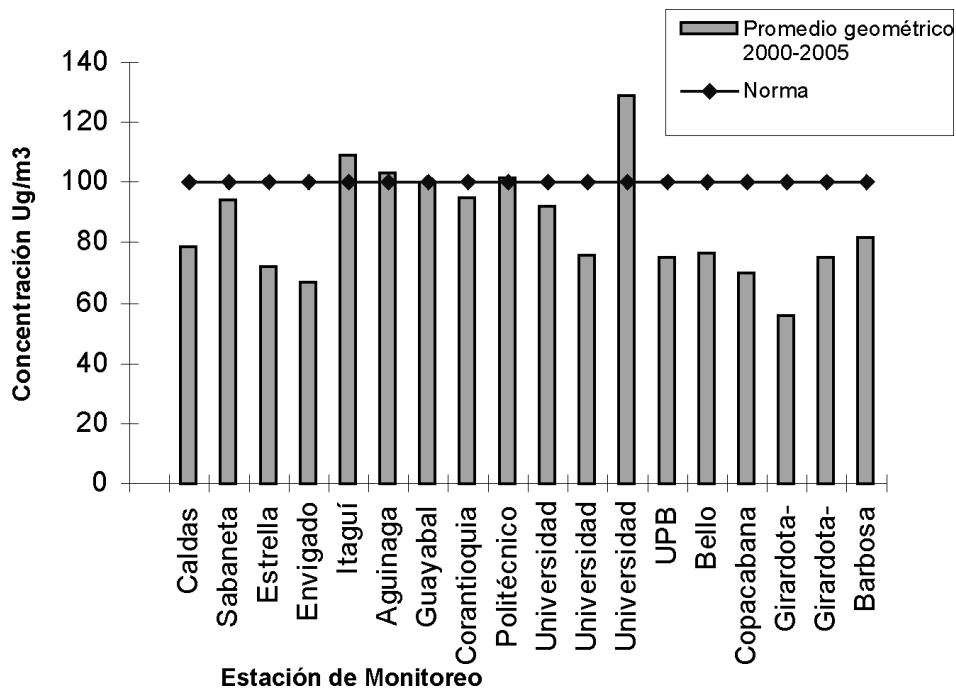


Figura 1. Concentraciones promedio de PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el área metropolitana, 2000–2005

En la Figura 1 se observa que las estaciones Universidad Nacional, Itagüí, Miguel de Aguinaga, Politécnico y Guayabal presentan los niveles más altos de contaminación y que las estaciones Girardota–Liceo y Envigado presentan los niveles más bajos por partículas suspendidas totales (PST).

La variación anual de este contaminante en las estaciones de Universidad Nacional, Universidad de Antioquia, Itagüí, Politécnico Jaime Isaza Cadavid, Girardota–Liceo y La Estrella muestra un comportamiento cíclico en que la contaminación aumenta en las épocas de verano (enero a marzo, julio a noviembre) y disminuye en las épocas de invierno (abril a mayo, noviembre a diciembre).

En cuanto a la variación semanal, se encontró que aumenta los días lunes y martes; hay un pequeño descenso los días miércoles y nuevamente aumenta los jueves y viernes; los sábados y domingos disminuye. Esto se debe a que los fines de semana las actividades laborales y el flujo vehicular es menor y que al iniciar la semana se reanudan nuevamente las actividades laborales.

Variación de la contaminación por PST, la precipitación y la velocidad del viento

En Itagüí, en el año de 2003, la concentración más alta fue de $148 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de marzo y la precipitación, de 92,6 mm, uno de los valores más bajos, lo que es coherente con la teoría de que en los meses de verano la concentración aumenta y en los meses de invierno baja por el efecto que tiene la lluvia de precipitar las partículas sólidas dispersas en el ambiente,³ pero, contrariamente, también se observó que los meses más lluviosos fueron junio y octubre; en ellos, la concentración de PST fue alta: $103 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $133 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valores que sobrepasan la norma actual (Resolución 601/2006, $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ anual). La velocidad del viento durante este año fue de 2,5 m/s, por lo que se puede considerar que dicho factor no influye en la concentración del contaminante.

En el año 2004, los meses más contaminados fueron febrero ($133 \mu\text{g}/\text{m}^3$), diciembre ($126 \mu\text{g}/\text{m}^3$), junio ($125 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y agosto ($123 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La precipitación en los meses de febrero y diciembre fue baja, al igual que en el mes de junio, que fue la más baja de todo el año (50,4 mm). Se concluye que en las épocas de verano la contaminación por PST aumenta y que en los meses de invierno ocurre lo contrario. En cuanto a la velocidad del viento, el promedio es de 2,5 m/s durante todo el año y no se presentan variaciones significativas que alteren la contaminación.

En la estación Politécnico Jaime Isaza Cadavid se presentó en el año 2003 mayor contaminación en los meses de marzo ($119 \mu\text{g}/\text{m}^3$), abril y octubre ($117 \mu\text{g}/\text{m}^3$), febrero ($111 \mu\text{g}/\text{m}^3$), noviembre ($110 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y diciembre ($107 \mu\text{g}/\text{m}^3$); las precipitaciones más altas se presentaron en junio, octubre, noviembre y abril,

lo que constituye un comportamiento anormal, ya que en estos meses la concentración debería ser menor por el efecto de la lluvia sobre la atmósfera. Por el contrario, se observa que el mes de febrero fue también muy contaminado pero la precipitación fue baja. La velocidad del viento no influye en la concentración del contaminante.

En el año 2004, los meses más contaminados fueron diciembre ($126 \mu\text{g}/\text{m}^3$), septiembre y octubre ($123 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y marzo ($112 \mu\text{g}/\text{m}^3$), meses en que la precipitación fue baja, excepto en octubre, que reportó un valor de 226,4 mm, el más alto del año. No estamos en capacidad de explicar por qué se da este comportamiento de aumento de concentración del contaminante en un mes tan lluvioso.

En la estación Guayabal, los meses más contaminados en el año 2003 fueron marzo y octubre ($129 \mu\text{g}/\text{m}^3$), septiembre ($123 \mu\text{g}/\text{m}^3$), febrero y noviembre ($107 \mu\text{g}/\text{m}^3$); nuevamente, la precipitación más alta se presentó en los meses de junio (231,3 mm), octubre (216,5 mm) y noviembre (203,4 mm).

En el año 2004, los meses de mayor contaminación fueron octubre ($124 \mu\text{g}/\text{m}^3$), noviembre ($125 \mu\text{g}/\text{m}^3$), agosto ($123 \mu\text{g}/\text{m}^3$), septiembre ($117 \mu\text{g}/\text{m}^3$), diciembre ($110 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y marzo ($109 \mu\text{g}/\text{m}^3$); los más lluviosos, octubre, septiembre, abril y mayo. Nuevamente, en los meses de septiembre y octubre hay mucha contaminación y también se presentaron los niveles más altos de precipitación. La velocidad del viento no constituye un factor influyente en la concentración del contaminante, ya que el régimen de vientos es muy bajo.

En la Figura 2 se observa la concentración promedio entre los años 2000 y 2005 por PM_{10} . En Medellín se tienen tres estaciones de monitoreo para este contaminante: Miguel de Aguinaga, Guayabal y Corantioquia. En estas tres estaciones, las concentraciones fueron de 63, 63 y 61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. La Resolución 601 de 2006 establece para este contaminante una concentración de $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ anual, por lo que podría decirse que no se supera la norma recientemente definida para Colombia, pero está por encima de la norma definida internacionalmente como de riesgo para la salud de las personas ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Este contaminante es el que más efectos tiene sobre la salud en cuanto a morbilidad respiratoria y cardiovascular, dado el tamaño de partícula.

De acuerdo con los resultados, se podría decir también que las mayores concentraciones anuales de PM_{10} se dan en el mes de noviembre aproximadamente, con valores de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en promedio. No hay una razón aparente para entender la causa de este hallazgo.

En cuanto al ciclo semanal, se observa aumento en los días lunes y martes, hay disminución los miércoles y alcanza sus niveles máximos los jueves y viernes; los sábados y domingos nuevamente desciende la concentración.

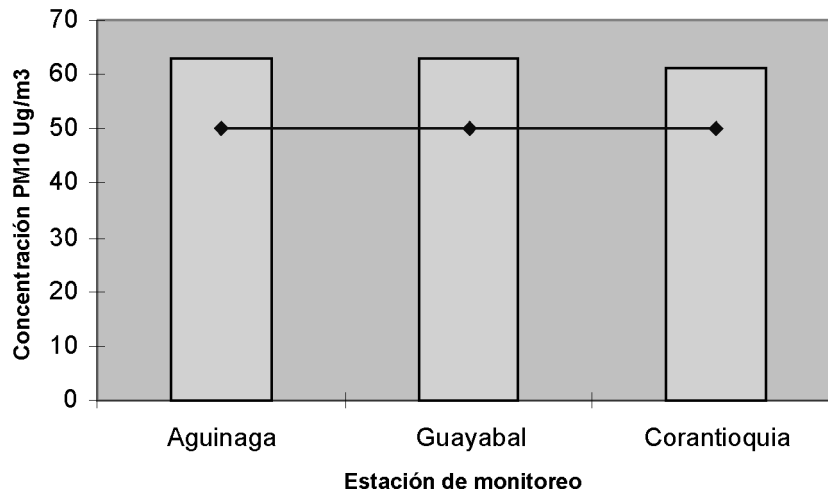


Figura 2. Concentraciones promedio de PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el área metropolitana, 2000–2005

Variación de la contaminación por PM_{10} , la precipitación y la velocidad del viento

Solamente se tiene como referencia la estación de Guayabal en los años 2003 y 2004, por la cercanía con la estación meteorológica en el aeropuerto Olaya Herrera; al analizar las concentraciones de PM_{10} y su relación con las lluvias y los vientos, se observa que es igual al que presentan las PST, analizadas anteriormente en los dos años (2003 y 2004), es decir, en el primer semestre se da el comportamiento esperado: a mayor precipitación, menor concentración de material particulado, y al contrario con los vientos: a menor velocidad, menor concentración. En el segundo semestre esto cambia, ya que aumentan las lluvias y las concentraciones de PM_{10} , al contrario de lo que sucede con los vientos, pues estos aquí son los que presentan el comportamiento esperado: a menor velocidad, mayor concentración. Se requiere de un estudio más riguroso para conocer las causas de este comportamiento.

Óxidos de azufre

Los valores obtenidos en las estaciones de monitoreo no superan los $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, por lo que no se considera crítico este contaminante en el Valle del Aburrá y, además, la Resolución 601 de 2006 establece como límite $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ al año.

Óxidos de nitrógeno

La concentración más alta de este contaminante fue de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación Miguel de Aguinaga, entre los años 2001 y 2005, por lo cual tampoco es muy crítico para la

salud de los habitantes del área; además, porque la Resolución 601 de 2006 establece como límite $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Sinergias

La mezcla de contaminantes como el SO_2 y el NO_2 , en presencia de la luz solar, produce ozono, considerado otro contaminante que produce efectos negativos en la salud de las personas, principalmente fenómenos de tipo obstructivo (asma).

Monóxido de carbono

Aunque este contaminante se considera de importancia para la salud de la población, no se tienen mediciones representativas que nos lleven a tomar una conclusión adecuada, sin embargo, se ha medido en las estaciones de Miguel de Aguinaga y Guayabal 1, entre los años 2002 a 2004, con concentraciones promedio de 8,4 y 6,1 PPM respectivamente. La Resolución 601 del 2006, emitida por el Ministerio del Ambiente, tiene establecido un límite máximo permisible de 8,8 PPM para 8 horas y de 35 PPM para 1 hora.

Resultados en la salud

Los resultados obtenidos en las variables sociodemográficas (edad, sexo, escolaridad, estrato socioeconómico, peso y talla) evidencian que no hay diferencias significativas entre los grupos más expuestos y menos expuestos, sin que exista relación con consecuencias negativas para la salud de las personas por la presencia de material particulado en el ambiente. Como es de suponer, no hay ninguna relación de estas variables con la aparición de enfermedades relacionadas con el factor de riesgo, en este caso, material particulado.

Tabla 2. Características básicas de los individuos según sexo y niveles de exposición crónica a material particulado PM_{10} .

Variable	60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n=352)		30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n=276)	
	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
n (%)	63,1	36,9	56,9	43,1
Edad (años)	44,7	37,7	41,6	39,3
Peso (kg)	70,9	62,2	70,5	62,6
Talla (cm)	167,1	157,3	168,4	156,2

Del total de 628 personas encuestadas, 352 componen el grupo de individuos expuestos ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y 276 el grupo de no expuestos ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Del grupo de expuestos 63,1% son hombres y 36,9% son mujeres, la edad promedio es de 45 y 38 años, respectivamente. Del grupo de individuos no expuestos el 56,9% son hombres y el 43,1% son mujeres, con edades promedio de 42 y 39 años. Los resultados muestran que no hay diferencias entre las dos poblaciones (expuestos y no expuestos) en las variables peso, talla y edad.

Los individuos más expuestos a material particulado presentan con más frecuencia enfermedades manifestadas en signos y síntomas específicos, tales como ardor en los ojos, congestión nasal, dificultad para respirar, garganta irritada, tos, estornudos y dolor de cabeza. En los individuos menos expuestos, estos síntomas se presentan en menor intensidad. Esta situación de los más expuestos los hace más vulnerables al riesgo de sufrir el fenómeno de obstrucción pulmonar (EPOC o asma).

La contaminación del aire afecta diversos aspectos de la vida: salud, mental, económico, laboral, recreativo y familiar. El mayor impacto lo perciben los individuos en la salud (promedio = 3,37, $e = 283,97$, $p = 0,00$) y en lo mental (promedio = 2,39, $e = 220,93$, $p = 0,00$) y el menor impacto lo perciben en lo familiar (promedio = 1,78, $e = 87,66$, $p = 0,00$), situación que se presenta tanto para los más expuestos como para los menos expuestos. Esta situación tiene un impacto no cuantificado en aspectos socioeconómicos y personales, tales como la productividad, la pérdida de materias primas y de productos e incapacidades en las pequeñas y medianas empresas de las zonas estudiadas.

Los valores expresan el promedio de la intensidad del impacto recibida para cada una de las variables, escala (0-5).

La percepción de la contaminación es más evidente en los más expuestos, en relación directa con la presencia del material particulado, por razón de las actividades económicas que se conjugan: el transporte masivo, ubicación del lugar de trabajo y fuentes de contaminantes cercanas. Contrariamente, los menos expuestos evidencian una menor percepción de la contaminación

ambiental, según pruebas de significancia de 0,0 analizadas en la encuesta que se realizó a 628 trabajadores (hombres y mujeres), en aspectos como el aire, objetos, vidrios, ropa y muros de los sitios de trabajo.

En las variables agotamiento, depresión, desespero, aburrimiento, irritación, angustia, tristeza y rabia se evidenciaron diferencias significativas entre los más expuestos y los menos expuestos. Un individuo sometido a altos niveles de contaminación, ruido y congestión seguramente presentará irritabilidad, desespero, depresión, rabia, tristeza, lo que no le permite estar en condición mental saludable para desempeñar sus labores adecuadamente.

Los valores expresan el promedio de la intensidad del impacto percibida para cada una de las variables, escala (0-5).

En las variables flujo expiratorio medio forzado en el 50% (MEF_{50}), porcentaje del volumen expiratorio forzado (PVEF), flujo expiratorio máximo medio (MMEF), volumen expiratorio forzado en el quinto segundo (VEF_5) y volumen expiratorio forzado en el primer segundo (VEF_1), los resultados muestran que los más expuestos tienen menor capacidad funcional con respecto a los menos expuestos, con diferencias significativas que implican entonces mayor riesgo de sufrir fenómenos obstructivos pulmonares.

Por sexo, se evidenciaron mayores diferencias en el grupo de hombres, observadas en las variables funcionales volumen expiratorio forzado (VEF) en el primer segundo y en el porcentaje del volumen expiratorio forzado (PVEF) proporción del volumen expiratorio forzado en el primer segundo sobre capacidad vital ($PVEF_1/CV$). Entre las mujeres, se encontraron igualmente diferencias, aunque el intervalo de confianza fue mayor. Lo anterior se puede interpretar como el mayor riesgo de los hombres, ya que permanecen más tiempo expuestos a las condiciones de riesgo, en función de las características del empleo.

De particular importancia fue el haber conocido el exceso del riesgo de sufrir enfermedades obstructivas crónicas que tienen los más expuestos frente a los menos expuestos. Se encontró en hombres 68% de exceso de riesgo de sufrir fenómenos obstructivos pulmonares

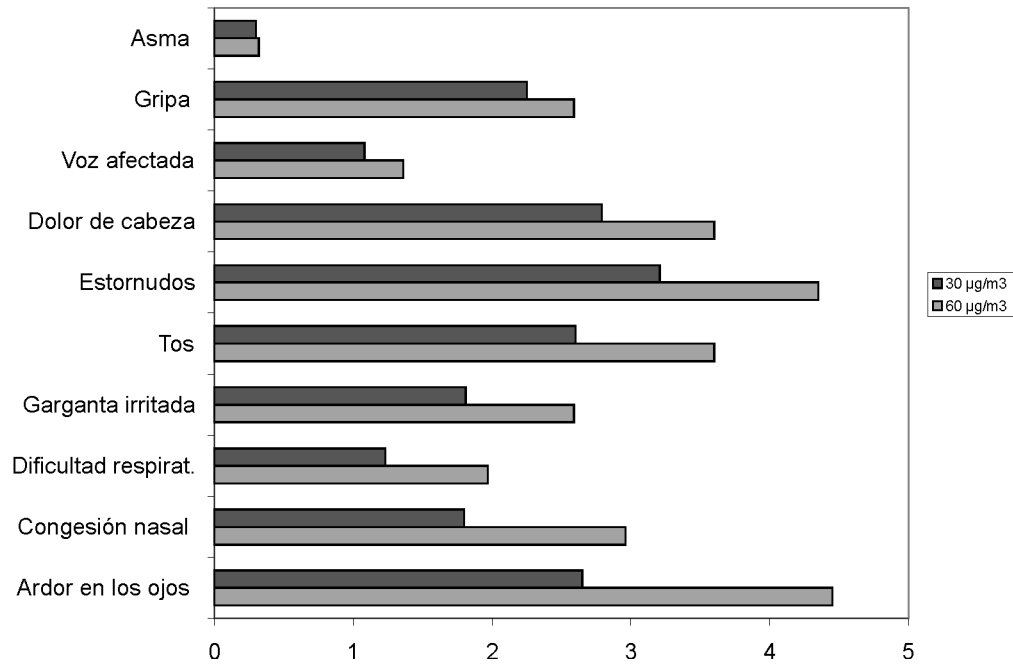


Figura 3. Síntomas orgánicos en individuos más expuestos (60 µg/m³) y menos expuestos (30 µg/m³) a material particulado PM₁₀.

Tabla 3. Impacto ambiental percibido en diversos aspectos de la vida reportados por individuos más expuestos (60 µg/m³) y menos expuestos (30 µg/m³).

Variable	60 µg/m ³	30 µg/m ³	D(%)	t	p
Salud	3,37	1,39	2,0 (142)	283,97	0,00
Mental	2,39	0,56	1,8 (321)	220,93	0,00
Económico	2,38	0,81	1,6 (194)	174,11	0,00
Laboral	2,31	0,79	1,5 (192)	133,62	0,00
Recreativo	1,96	0,53	1,4 (269)	121,12	0,00
Familiar	1,78	0,26	1,2 (197)	87,66	0,00

Tabla 4. Síntomas neuropsicológicos en individuos más expuestos (60 µg/m³) y menos expuestos (30 µg/m³).

Variable	60 µg/m ³	30 µg/m ³	D(%)	t	p
Agotamiento	4,59	3,02	53	36,61	0,00
Depresión	2,43	1,63	49	12,83	0,00
Desespero	3,51	2,36	49	19,89	0,00
Aburrimiento	3,27	2,41	36	10,79	0,00
Irritación	4,63	3,41	35	20,01	0,00
Angustia	3,77	2,5	34	24,08	0,00
Tristeza	3,18	2,49	28	8,21	0,00
Nerviosismo	3,13	2,64	19	3,62	0,06
Rabia	4,33	3,5	18	9,99	0,00
Pesimismo	1,99	1,75	14	0,91	0,34

Tabla 5. Variables funcionales respiratorias en individuos más expuestos ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y menos expuestos ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a material particulado PM_{10} .

Variable	$60 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$30 \mu\text{g}/\text{m}^3$	D(%)	t	p
MEF 50	3,95	4,46	12,6	10,90	0,00
PVEF	81,7	84,2	3,1	10,40	0,00
MMEF	3,27	3,64	12,7	10,06	0,00
FEV 5	2,27	2,46	8,3	8,22	0,00
VEF	2,96	3,19	7,7	8,06	0,00
MEF 75	5,7	6,29	8,66	4,65	0,03
MEF 25	1,62	1,78	9,8	3,85	0,05
CV	3,61	3,78	4,7	3,46	0,06
PEF	6,37	6,72	5,6	2,13	0,15

(ic 1,19–2,36), con diferencia significativa ($p = 0,00$). Al separar por sexo, se evidenció una situación similar en los hombres y en las mujeres, con exceso de riesgo de los hombres más expuestos de 54% (ic 1,04–2,29) y en las mujeres, de 95% (ic 0,99–3,82), igualmente con diferencias significativas.

Con respecto al hábito de fumar, se encontraron diferencias que muestran el exceso de riesgo, tanto en los que fuman como en los que no fuman, en los más expuestos en comparación con los menos expuestos. Orienta este aspecto hacia el papel que tiene la contaminación en los efectos negativos en la salud pulmonar de las personas.

Conclusiones

De acuerdo con el índice de calidad del aire (AQI), esta es de nivel aceptable en el centro de la ciudad (Edificio Miguel de Aguinaga), Guayabal y Corantioquia. Para el Instituto Estadounidense de Protección Ambiental (EPA, sigla de Environmental Protection Agency), las mediciones no deben superar los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sin embargo, en estas estaciones los niveles están por encima de esta norma y, frecuentemente, superan los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que en cierto sentido es contradictorio y debería ajustarse a las condiciones de riesgo potencial.

Las mediciones del área metropolitana no son comparables, dadas las diferencias de ubicación, distancia a fuentes de contaminación y altura de ubicación de las estaciones de monitoreo. Las estaciones de monitoreo en los municipios de Girardota y Envigado no están ubicadas en el sitio donde se tiene exposición directa a los contaminantes. Esto hace que los resultados de las mediciones no sean un indicador de la exposición real. Las estaciones de monitoreo actuales son insuficientes, pues no se conoce la magnitud de la contaminación en los costados oriental y occidental del área metropolitana.

La calidad del aire en el oriente antioqueño es buena en comparación con lo encontrado en los municipios del área metropolitana; aunque el municipio de Rio-negro presenta mayores niveles de contaminación por PM_{10} , no alcanza a superar la norma anual de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (según el índice de la calidad del aire establecido por la EPA y con la Resolución 601 del 4 de abril de 2006, emitida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial).

Las poblaciones investigadas (más expuestos y menos expuestos a material particulado) fueron muy similares en sus características de edad, peso y talla. Igualmente, no se encontraron diferencias significativas entre los dos grupos estudiados en las variables consumo de cigarrillo, nivel educativo y estrato socioeconómico.

Los más expuestos a contaminantes ambientales manifestaron sufrir con más frecuencia ardor en los ojos, congestión nasal, dificultad respiratoria, garganta irritada, tos, estornudos y dolor de cabeza que los menos expuestos, con diferencias significativas ($p = 0,00$) en estos signos y síntomas.

Hay una mayor percepción de los efectos negativos en los individuos más expuestos, en comparación con la percepción de los individuos menos expuestos a contaminantes ambientales, lo que complementa los hallazgos de alcance orgánico y neurosicológico que permiten evidenciar un mayor riesgo para los individuos expuestos a altos niveles de contaminación.

Las expresiones de agotamiento, depresión, desespero, aburrimiento, irritación, angustia, tristeza y rabia fueron más frecuentes y de mayor intensidad en el grupo de los más expuestos a contaminación, con diferencias significativas con lo encontrado en los no expuestos. Para las expresiones de nerviosismo y sentimiento de rabia no se encontraron diferencias significativas entre los dos grupos evaluados.

En los resultados obtenidos del volumen expiratorio forzado, los más expuestos presentaron resultados que evidencian menor capacidad en este indicador funcional frente a los menos expuestos. La alteración en este parámetro permite identificar el riesgo de sufrir un fenómeno obstructivo pulmonar.

El porcentaje de diferencia entre la relación de volumen expiratorio forzado de un segundo sobre capacidad vital forzada (VEF_1/CVF) entre los menos expuestos y los más expuestos a material particulado es de 3,1%, muy similar a lo encontrado en otras investigaciones similares en el mundo.

Los hombres expuestos a material particulado presentan diferencias significativas en variables como el VEF_1 , el $PVEF$ y el FEV_3 frente a los menos expuestos. En mujeres también se encontraron diferencias en los valores espirométricos entre los dos grupos, pero en menor magnitud que en los hombres.

Los hombres más expuestos tienen un mayor riesgo de fenómenos obstructivos que las mujeres expuestas. Los más expuestos tienen un exceso de riesgo de sufrir fenómenos obstructivos que los menos expuestos a material particulado.

Tanto en los fumadores como en los no fumadores, se observa el efecto desfavorable de la contaminación ambiental.

Recomendaciones

- Normalizar o estandarizar las metodologías para mediciones y requerimientos de ubicación y caracterización de las zonas a monitorear, en lo referente a contaminación ambiental en la red existente, pues de seguir en las condiciones que se presentan en este momento es posible que nunca sepamos realmente en cuáles condiciones ambientales vivimos, además de que no se podrán alimentar sistemas de vigilancia epidemiológica como herramienta esencial para los habitantes metropolitanos.
- Efectuar mediciones más frecuentes de monóxido de carbono para alertar a la comunidad y tomar medidas que mitiguen el impacto ambiental y de salud de la comunidad metropolitana.
- Informar permanentemente a la comunidad acerca de las concentraciones de los diferentes contaminantes en diferentes sitios de la ciudad, con el

fin de tomar decisiones que aporten beneficios en cuanto a la sana recreación, esparcimiento y prácticas deportivas.

- Implementar mediciones más rigurosas de los contaminantes PM_{10} y $PM_{2.5}$, así como también estaciones meteorológicas que midan el régimen de vientos en los costados oriental y occidental, norte y sur.
- Realizar investigaciones que permitan identificar el riesgo cardiovascular y los efectos más frecuentes que tienen las personas expuestas a contaminantes como PM_{10} , $PM_{2.5}$.
- Diseñar un modelo de vigilancia epidemiológica para la detección temprana de los factores de riesgo para evitar que se den los efectos negativos en las personas expuestas.
- Sensibilizar a los trabajadores y, en general, a la población expuesta a contaminación, sobre su participación para el control de factores de riesgo.
- Motivar en la población expuesta la adopción de estilos de vida y trabajo saludables (no consumo de cigarrillo, práctica de ejercicio periódico, etc.).

Reconocimientos

Agradecemos a la Universidad de Antioquia, al área metropolitana del Valle de Aburrá y al Municipio de Medellín por sus aportes económicos para la realización de la investigación. También agradecemos al profesor Juan Luis Londoño por sus asesorías incondicionales que motivaron nuestro espíritu investigativo y al docente Álvaro Olaya, director de la revista, por ayudar en la presentación de este artículo.

Referencias

1. Cifuentes L, Lave L, Vega J, Kopfer K. Effect of the fine fraction of particulate matter vs. the coarse mass and other pollutants on daily mortality in Santiago, Chile. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2000; (50) 1287-98.
2. Gómez A. Contaminación atmosférica, enfermedad respiratoria aguda (ERA) e inasistencia escolar en un sector de Medellín, Colombia. Conferencia En prensa. Medellín: Universidad de Antioquia; 2002.
3. Williamson S. *Fundamentals of air pollution*. Nueva York: Addison-Wesley; 1973. p 472.