

Sánchez, Jorge; Urrego, Juan; Zakzuk, Josefina; Bornacelly, Adriana; Castro, Ildelfonso; Caraballo, Luis  
Niveles de Contaminantes en el aire de Cartagena, Colombia  
Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud, vol. 45, núm. 3, septiembre-diciembre, 2013, pp. 35-44  
Universidad Industrial de Santander  
Bucaramanga, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=343833961004>



*Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud,*  
ISSN (Versión impresa): 0121-0807  
[saluduis@uis.edu.co](mailto:saluduis@uis.edu.co)  
Universidad Industrial de Santander  
Colombia

## Niveles de Contaminantes en el aire de Cartagena, Colombia

### Levels of air pollution in Cartagena, Colombia

Jorge Sánchez<sup>1</sup>, Juan Urrego<sup>2</sup>, Josefina Zakzuk<sup>3</sup>, Adriana Bornacelly<sup>4</sup>, Ildefonso Castro<sup>5</sup>, Luis Caraballo<sup>6</sup>.

**Forma de citar:** Sánchez J, Urrego J, Zakzuk J, Bornacelly A, Castro I, Caraballo L. Niveles de contaminantes en el aire de Cartagena, Colombia. rev.univ.ind.santander.salud 2013; 45 (3): 35-44

### RESUMEN

**Introducción:** La contaminación del aire es uno de los principales factores de riesgo para el desarrollo de enfermedades respiratorias, sin embargo existen pocos estudios evalúen los niveles de los principales contaminantes en los países latinoamericanos. **Objetivo:** El objetivo principal de esta investigación fue describir los niveles de gases y partículas en diferentes sectores de Cartagena teniendo en cuenta los estándares nacionales de calidad de aire. **Metodología:** Se utilizó una metodología dividida en dos fases: En la fase I se midieron las concentraciones de oxígeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono y partículas menores de 2.5micras por periodos cortos (5 a 12 días) en 8 puntos de la ciudad. En la fase II se realizó una nueva medición en uno de los sectores durante un periodo prolongado (12 meses). **Resultados:** Se observó que las concentraciones de los gases estaban dentro de los límites recomendados por la reglamentación nacional con algunas excepciones en los registros de monóxido de carbono. La concentración de partículas superó en cuatro sectores la normativa nacional. **Conclusión:** La concentración de los gases medidos en Cartagena se encuentra dentro de los límites recomendados por las normas nacionales, pero las pequeñas partículas mantienen una alta concentración, especialmente en las zonas cercanas a carreteras con alto tráfico vehicular. Es necesario evaluar el impacto de las partículas en los procesos respiratorios de las personas que viven cerca de carreteras.

**Palabras claves:** Aire, Azufre, Carbono, Contaminación, Partículas, Ozono.

1. MD, MSc en Inmunología, Esp. en Alergología Clínica, investigador asociado Instituto de Investigaciones Inmunológicas (III), Universidad de Cartagena. Fundación para el Desarrollo de las Ciencias Médicas y Biológicas (FUNDEMEB). Grupo de Alergología Clínica y Experimental, Universidad de Antioquia, Colombia

2. QF, MSc en Inmunología, investigador asociado Instituto de Investigaciones Inmunológicas (III), Universidad de Cartagena, Colombia

3. MD PhD en Ciencias Biomédicas. Investigadora asociada Instituto de Investigaciones Inmunológicas (III), Universidad de Cartagena. Fundación para el Desarrollo de las Ciencias Médicas y Biológicas (FUNDEMEB).

4. MD, Investigadora asociada Instituto de Investigaciones Inmunológicas (III), Universidad de Cartagena. Fundación para el Desarrollo de las Ciencias Médicas y Biológicas (FUNDEMEB).

5. QF, Esp. en ingeniería sanitaria y ambiental docente Universidad del Sinú, Colombia

6. MD, MSc en Microbiología, Dr. en Ciencias Farmacéuticas, Esp. en Alergología Clínica. Director Instituto de Investigaciones Inmunológicas (III), Universidad de Cartagena. Fundación para el Desarrollo de las Ciencias Médicas y Biológicas (FUNDEMEB).

**Correspondencia:** Jorge Sánchez MD, MSc. **Dirección:** Cra42 n 7ª sur 92. **E-mail:** jotamsc@yahoo.com. **Teléfono:** 300 3934000 Medellín Colombia.

**Recibido:** Julio 11 de 2013

**Aprobado:** Noviembre 3 de 2013

## ABSTRACT

**Background:** Air pollution is one of the main risk factors for the development of respiratory diseases, however, there are few studies evaluating the levels of major pollutants in Latin American countries. **Objective:** To describe the levels of gases and particles in different sectors of Cartagena taking into account national standards for air quality in Colombia, and to explore the interactions of gases and particles in each sector. **Methods:** The methodology was divided in two phases: In phase I, for short periods (5 to 12 days) in 8 points of the city, the ozone, sulfur dioxide, carbon monoxide and small particles (<2.5 microns) concentrations were measured. In Phase II, a new measurement was performed in one sector for a long period time (12 months). **Results:** Gas concentrations were within the levels recommended by the national regulation. Particles levels were high, exceeding in four sectors the national regulation. **Conclusion:** The concentration of gases in Cartagena is during most of the time within the limits recommended by national standards. However, small particles concentrations remain high, especially in areas close to vehicular high traffic. Further studies that evaluate the impact of PM on respiratory diseases in people living near roads should be made.

**Keywords:** Air, Sulfur, Carbon, Pollution, Particles, Ozone.

## INTRODUCCIÓN

Es difícil establecer la asociación entre la contaminación del aire y enfermedades como Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC), asma, neumonía, hipertensión y depresión, debido a que la exposición a los gases y partículas del aire es un proceso dinámico en el que intervienen múltiples factores. Sin embargo, los resultados de diversos estudios epidemiológicos indican que la exposición a altas concentraciones de monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>) y pequeñas partículas menores de 2.5 micras (PM<sub>2.5</sub>), es una causa importante del aumento de la incidencia de estas enfermedades, especialmente las que afectan el tracto respiratorio <sup>1-3</sup>. Debido al efecto directo de la contaminación del aire en la salud humana <sup>4</sup> y en los recursos naturales <sup>5</sup>, varios países han implementado sistemas de monitoreo de gases y partículas que les permiten conocer la concentración de estas sustancias con el propósito de vigilar el cumplimiento de la normativa ambiental local que regula las concentraciones máximas permitidas. La información generada con estas redes ayuda al diseño de políticas de salud pública ya que sirve de soporte técnico científico para mejorar las condiciones ambientales. En Colombia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, redujo en el 2011 siguiendo la resolución del 2010 el nivel máximo anual permisible de CO, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub>; sin embargo, solo algunas ciudades del país cuentan con redes de monitoreo, por lo que en la mayor parte del territorio colombiano no es posible evaluar el cumplimiento de esta normativa.

La reglamentación en nuestro país sobre la calidad de aire fue establecida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y señala que los principales

centros urbanos deben tener una red de monitoreo ambiental para el año 2011 (Resolución 601 del 2006, resolución 2154 y 0610 del 2010). Varias ciudades ya han empezado a crear el sistema de monitoreo. En Antioquia la REDAIRE (Red de vigilancia de la Calidad del Aire) fue creada en 1992 y es la entidad encargada de la vigilancia de la calidad de aire en esa región realizando un monitoreo continuo en 19 puntos de toda el área metropolitana. En Bogotá la RMCAB (Red de Monitoreo de la Calidad de Aire de Bogotá) cuenta con 15 estaciones para toda la ciudad. En Cali hay 8 estaciones fijas y una móvil que permite un mayor dinamismo en el monitoreo. Sistemas similares están siendo instalados en otras ciudades del país pero aún no están en completo funcionamiento.

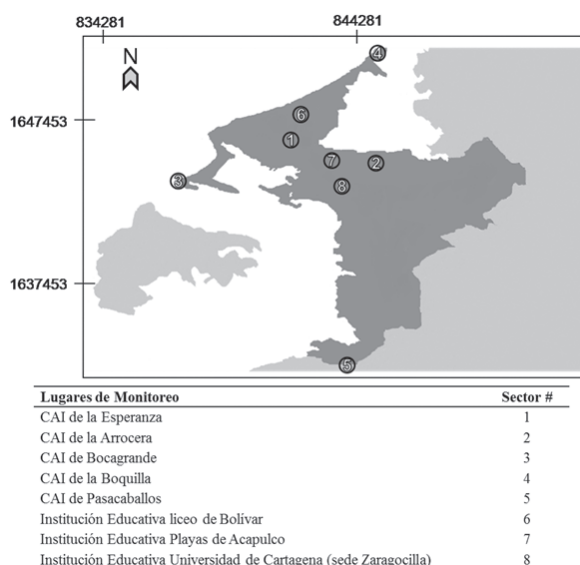
En Cartagena, ciudad del Caribe colombiano, desde hace varios años se vienen adelantando por parte de la alcaldía y del establecimiento público ambiental de la ciudad, la instalación de una red de monitores para evaluar la calidad de aire en la ciudad, sin embargo hasta el momento este proyecto no se ha concretado y no se dispone de equipos de monitoreo fijos o móviles que permitan medir de manera constante la gases, partículas y otras sustancias presentes en el aire. Existen equipos reguladores en la zona industrial de Mamonal ya que es un requisito exigido en las zonas de alta actividad industrial, pero la medición de solo este punto no sirve para evaluar sectores más alejados donde viven la mayoría de los cartageneros. Desde hace varios años en el Instituto de Investigaciones Inmunológicas (III) de la Universidad de Cartagena se han investigando los factores de riesgo para el desarrollo de asma y atopía <sup>6,7</sup>, por lo que se evaluó la calidad del aire en algunos sectores de la ciudad de Cartagena, utilizando equipos de monitoreo de gases (CO, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>) y partículas (PM<sub>2.5</sub>), teniendo en

cuenta lo reglamentado por la normativa colombiana y lo recomendado por entidades afines a nivel internacional. El objetivo de este trabajo es presentar los datos obtenidos de las diferentes sustancias medidas y evaluar la relación entre los niveles de partículas y los diferentes gases.

## METODOLOGÍA

### Cartagena de Indias

Cartagena está ubicada en el Caribe Colombiano (10° 23' 59" Norte, 75° 30' 52" Oeste) y tiene alrededor de 1 millón de habitantes



**Figura 1.** Localización de los equipos y puntos de monitoreo en Cartagena de Indias (Colombia).

Se escogieron 8 sectores en la zona noroeste, representativos de diferentes áreas altamente pobladas y se registraron las vías vehiculares más cercanas a cada punto donde se ubicaron los equipos de monitoreo al igual que la cantidad promedio de vehículos que transitaban por día en cada zona (**Figura 1**). Estos sectores fueron seleccionados de acuerdo a la distribución de la población de Cartagena, el tráfico vehicular y la ubicación de fábricas industriales. En cada uno de estos sectores los equipos permanecieron por un periodo de una semana. Posteriormente, se colocaron en el sector 8, en el Campus de Ciencias de la Salud de la Universidad de Cartagena durante un año.

Cartagena por ser una ciudad del trópico, tiene un régimen climático bimodal con periodos de lluvia usualmente en los meses de mayo a noviembre. Junto

con la medición de la concentración de los gases, también se llevó un registro de la velocidad de los vientos, la temperatura, la presión atmosférica, las lluvias y la humedad.

### Monitoreo atmosférico

Las concentraciones de CO, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, y de PM<sub>2.5</sub> se midieron con equipos de monitoreo marca Thermo Electron (Alemania). Para el O<sub>3</sub> se empleó fotometría (Thermo Electron modelo 49i), para el SO<sub>2</sub> fluorescencia (Thermo Electron modelo 43i), el CO se detectó con un sistema de correlación infrarroja (Thermo Electron modelo 48i) y la concentración y tamaño de las PM<sub>2.5</sub> por nefelometría (Thermo Electron DataRam 4).

Cada muestreo se hizo durante un periodo promedio de ocho días (5 a 14) por sector desplazando los equipos de un sector a otro luego de cumplido el periodo. Una vez medidos todos los sectores por periodos de una semana, los equipos se instalaron durante un año en el sector 8.

### Instalación de los equipos

Los equipos fueron instalados en todos los sectores siguiendo las recomendaciones de la compañía proveedora (THERMO ELECTRON) y los protocolos del EPA ("US Environment Protection Agency" (Acta WMO/TD-No. 1250 2006) teniendo en cuenta las consideraciones especiales para muestreos en ciudades. Previa revisión de que cada sitio fuera representativo del sector a estudiar, se seleccionaron ocho puntos teniendo en cuenta el objetivo de evaluar la calidad del aire en el área urbana de la ciudad de Cartagena. Cada equipo dispone de un tubo colector que fue ubicado entre dos a cuatro metros de altura sobre el suelo, a una distancia no inferior a tres metros de cualquier obstáculo como paredes, árboles, etc. Teniendo en cuenta la recomendación del EPA, se consideró como obstáculo, a cualquier objeto con un tamaño igual o mayor al de la mitad de la longitud del tubo colector. Debido a que las obstrucciones pueden cambiar con el tiempo, diariamente se evaluó dos veces (mañana y tarde) el buen funcionamiento de cada uno de los equipos, que no hubiera ninguna obstrucción en el tubo colector y que tuviera un arco de al menos 270 grados del flujo del aire en dirección al viento predominante. Debido a que los árboles pueden limpiar el aire de gases y aumentar el número de partículas, ninguno de los puntos seleccionados estuvo cerca de un sitio arborizado. Solo en el sector ocho había presencia de algunos árboles, con tamaño superior al de la longitud

del tubo colector; siguiendo las recomendaciones del EPA, en este sector ubicamos los equipos a más de 30 metros del área arborizada, los árboles predominantes eran de Abedul, que tiene poca variación en su periodo de polinización durante el año, por lo que su impacto en las mediciones del sector 8 fue mínimo.

Debido a que el ozono no es un contaminante primario, la distancia a las carreteras con tráfico vehicular es crucial. Siguiendo las recomendaciones del EPA, los equipos fueron ubicados en “puntos cercanos” (entre 30 y 60 metros) y no en “puntos adyacentes” (<30 metros) de las carreteras. Los sectores 1 y 2 están cerca de las dos carreteras principales de la ciudad por lo que el tráfico vehicular es alto (>300 vehículos día), los equipos estuvieron ubicados a 47 metros de estas carreteras. Los sectores 3 y 4 están en los dos extremos de la zona costera norte de la ciudad donde el tráfico vehicular es moderado (50 a 300 vehículos día) y bajo (<50 vehículos día) respectivamente los equipos estuvieron ubicados a 58 metros de la carretera principal de este sector. El sector 5 está ubicado en la comunidad más próxima (<500 metros) de la principal área industrial de la ciudad, aquí el tráfico vehicular es moderado, los equipos estuvieron ubicados a 50 metros de la carretera más cercana y a 260 metros del sector industrial más cercano. Los sectores 6, 7 y 8 están bastante alejados de las costas marinas y tienen bajo tráfico vehicular, la ubicación de los equipos en esta zona fue a 50 metros de la carretera más cercana. Para asegurar el funcionamiento permanente y su integridad física, los equipos se ubicaron en estaciones de policía (sectores 1-5) o instituciones educativas (sectores 6-8).

## Análisis de los datos

Los valores de las concentraciones de los contaminantes, la temperatura y la humedad se recolectaron minuto a minuto. Inicialmente se realizó un análisis exploratorio de los datos en el cual se descartaron los valores atípicos y extremos señalados por los equipos (valores negativos o con alarmas indicando toma errónea de muestra) y luego se organizaron en conjuntos de datos por promedios horarios (hora, 8 horas) diarios, mensuales y de acuerdo a las jornadas del día (día, noche, mañana tarde). Para el promedio de conjunto de datos, solo fueron incluidos días con al menos 21 horas continuas y meses con al menos 23 días válidos.

No es adecuado hacer comparaciones directas entre medidas que no fueron realizadas de manera simultánea,

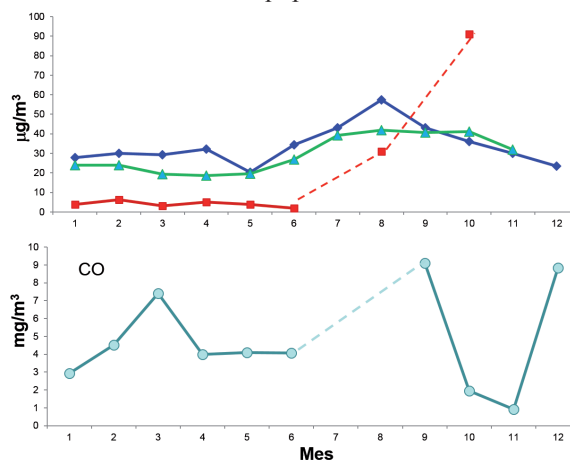
por lo que realizamos análisis de asociaciones entre los contaminantes medidos en un mismo sector e hicimos solo comparaciones descriptivas entre los sectores.

Los datos de CO y O<sub>3</sub> son presentados en periodos de 8 horas y los de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> en periodos de 24 horas.

Los datos obtenidos para cada contaminante se analizaron mediante medidas de tendencia central (media, mediana y moda), la dispersión de los datos, los valores máximos y mínimos, luego se determinó la distribución de los datos utilizando el test de Shapiro-Wilk y Kolmogorov Smirnov y finalmente se correlacionaron los niveles de los contaminantes mediante el coeficiente de correlación de Spearman utilizando el programa estadístico IBM SPSS 19. La comparación entre periodos de tiempo (día, noche etc.) se realizó mediante análisis de chi cuadrado.

## Datos excluidos

Teniendo en cuenta que los equipos señalan una alarma cuando los datos obtenidos no son confiables debido a factores como temperatura interna de las maquinas u obstrucción del muestreador, excluimos algunos datos obtenidos por horas, pero estos no superaron más de tres horas por día. En la **Figura 2** se observa que no se obtuvieron días válidos suficientes para el muestreo en los meses 7 y 9 para SO<sub>2</sub> y 7 y 8 para el CO debido a que durante este periodo de tiempo se debió realizar mantenimiento a estos equipos.



**Figura 2:** Medición en el sector 8 de CO (azul claro círculos) O<sub>3</sub> (azul oscuro rombos), SO<sub>2</sub> (rojo cuadrados) y PM<sub>2.5</sub> (verde triángulos), durante doce meses. Las líneas punteadas corresponden a meses sin suficientes datos para presentar la media mensual.

## RESULTADOS

### Niveles de CO, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> en los 8 sectores

La concentración promedio de CO fue 8,37 mg/m<sup>3</sup> (miligramos/metro cúbico). Se observaron amplias variaciones entre los sectores (**Tabla 1**).

La mayor concentración se encontró en el sector 3 con una media de 16,17 mg/m<sup>3</sup> y la menor concentración en el sector 1 con 1,27 mg/m<sup>3</sup>. No hubo diferencias estadísticamente significativas entre periodos del día (diurno / nocturno) o por horas. En los sectores 3 y 8 se encontraron valores que superaron la norma nacional (**Tabla 2**), que establece que en periodos de 8 horas deben ser inferiores a 10 mg/m<sup>3</sup>.

La concentración promedio de O<sub>3</sub> fue 34,05 mcg/m<sup>3</sup> (microgramos / metro cúbico) (**Tabla 1**). La mayor concentración fue, al igual que para el CO, en el sector

3, con 49,18 mcg/m<sup>3</sup>, y la menor en el sector 2 con 20,9 mcg/m<sup>3</sup>. Ningún sector presentó niveles superiores a los recomendados por la norma nacional para periodos de 8 o 24 horas (**Tabla 2**).

La concentración promedio de SO<sub>2</sub> en periodos de 24 horas fue 7,76 mcg/m<sup>3</sup> y de PM<sub>2,5</sub> 50,54 mcg/m<sup>3</sup>. Ambos contaminantes tuvieron una correlación fuerte en los sectores 1 ( $r=0,886$   $p=0,01$ ) y 2 ( $r=0,970$   $p=0,02$ ), los cuales están cercanos a las vías con mayor tráfico vehicular de la ciudad (material suplementario, **Tabla 1**). También se encontró una correlación moderada (no significativa) entre SO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> en el sector 3 donde el tráfico vehicular es moderado (223 vehículos / día). Teniendo en cuenta la concentración máxima para 24 horas de PM<sub>2,5</sub> recomendada en la reglamentación colombiana (<50 mcg/m<sup>3</sup>), 4 sectores de la ciudad superaron la norma (**Tabla 1 y 2**) y todos superaron los estándares del EPA (<35 mcg/m<sup>3</sup>).

**Tabla 1.** Concentración de CO, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub> por sectores y tamaño promedio de partículas PM<sub>2,5</sub>. Mg: Miligramos. mm: microgramos. m<sup>3</sup>: Metro cúbico. mm: Milímetro.

	Sector								MEDIA
	1	2	3	4	5	6	7	8	
CO (mg/m <sup>3</sup> )	1,27	4,86	16,17	5,78	7,06	9,40	8,62	13,8	<b>8,37</b>
O <sub>3</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	26,90	20,90	49,18	39,10	31,94	32,82	28,89	42,6	<b>34,05</b>
SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	7,21	19,52	3,22	3,65	10,56	7,64	7,80	2,55	<b>7,76</b>
PM <sub>2,5</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	58,96	100,28	29,06	35,41	44,06	28,90	67,14	40,5	<b>50,54</b>
PM <sub>2,5</sub> diámetro (mm)	1,03	0,74	0,56	0,86	0,89	0,61	0,84	0,59	<b>0,76</b>

**Tabla 2.** Índice de cumplimiento de la norma nacional en cada sector. Se representan el número de registros dentro de la norma (<) y el número de registros que excedieron la norma nacional (>). Las registros de CO y O<sub>3</sub> corresponden a periodos de 8 horas y los de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> a periodos de 24 horas.

Sectores	CO (8h)		O <sub>3</sub> (8h)		SO <sub>2</sub> (24h)		PM <sub>2,5</sub> (24h)	
	<	>	<	>	<	>	<	>
Sector 1	18	<b>0</b>	12	<b>0</b>	6	<b>0</b>	2	<b>4</b>
Sector 2	12	<b>0</b>	12	<b>0</b>	4	<b>0</b>	0	<b>5</b>
Sector 3	0	<b>21</b>	21	<b>0</b>	7	<b>0</b>	7	<b>0</b>
Sector 4	15	<b>0</b>	15	<b>0</b>	5	<b>0</b>	6	<b>0</b>
Sector 5	33	<b>0</b>	33	<b>0</b>	11	<b>0</b>	1	<b>10</b>
Sector 6	39	<b>0</b>	39	<b>0</b>	13	<b>0</b>	13	<b>0</b>
Sector 7	12	<b>0</b>	15	<b>0</b>	5	<b>0</b>	2	<b>3</b>
Sector 8	0	<b>16</b>	16	<b>0</b>	5	<b>0</b>	5	<b>0</b>



La correlación entre  $O_3$  y CO fue variable; en el sector 5 fue negativa ( $r = -0,703$   $p = 0,01$ ) y en el sector 8 positiva ( $r = 0,925$   $p = 0,02$ ) (Material suplementario; **Tabla 1**).

### Mediciones de los contaminantes en el sector 8 durante un año

Si bien el monitoreo se hizo de manera continua durante la mayor parte del año, en el segundo semestre fue necesario el mantenimiento de los equipos por lo que no se obtuvieron datos suficientes (más de 23 días) en

algunos meses y por eso no se presentan como promedio mensual.

Durante el primer semestre, las medias mensuales de  $O_3$  (28,9 mcg/m<sup>3</sup>),  $SO_2$  (4 mcg/m<sup>3</sup>) y  $PM_{2,5}$  (22 mcg/m<sup>3</sup>) se mantuvieron estables, mientras que en el segundo semestre se aumentó su concentración ( $O_3 = 38,8$  mcg/m<sup>3</sup>,  $SO_2 = 22$  mcg/m<sup>3</sup>,  $PM_{2,5} = 38,9$  mcg/m<sup>3</sup>). El CO tuvo variaciones más fuertes, con un pico máximo de 8,84 mg/m<sup>3</sup> y mínimo de 0,9 mg/m<sup>3</sup> (**Figura 2 y Tabla 3**).

**Tabla 3.** Concentración CO,  $O_3$ ,  $SO_2$ ,  $PM_{2,5}$  y diámetro promedio de  $PM_{2,5}$  en el sector 8 durante 12 meses.

Mes	CO mg/m <sup>3</sup>	$O_3$ mg/m <sup>3</sup>	$SO_2$ mg/m <sup>3</sup>	$PM_{2,5}$ mg/m <sup>3</sup>	$PM_{2,5}$ diámetro
1	2,9	27,8	3,9	24,0	0,85
2	4,5	30	6,2	23,9	0,72
3	7,4	29,1	3	19,4	0,8
4	4	32,1	5,1	18,5	0,52
5	4	20,4	3,9	19,6	0,58
6	4	34,3	1,8	26,8	0,61
7	--	43	--	39,1	0,58
8	--	57	31	41,8	0,76
9	9	43	--	40,5	0,65
10	1,9	36	91	41,1	0,96
11	0,9	30	--	31,9	0,44
12	8,8	23	--	--	0,78
<b>MEDIA</b>	<b>4,7</b>	<b>33,8</b>	<b>18,2</b>	<b>29,7</b>	<b>0,68</b>

El CO y el  $SO_2$  superaron en algunos registros lo recomendado por la norma nacional (**Tabla 4**) mientras que el  $O_3$  y las  $PM_{2,5}$  se mantuvieron dentro de los estándares para 8 horas y 24 horas respectivamente, sin embargo el promedio de los 11 meses de  $PM_{2,5}$  estuvo por encima de la concentración máxima permitida para

un año y teniendo en cuenta lo recomendado por el EPA, las  $PM_{2,5}$  superaron las recomendaciones para 24 horas en casi todos los registros de los últimos 5 meses. Encontramos una correlación significativa entre  $PM_{2,5}$  y  $O_3$  ( $r = 0,79$   $p < 0,01$ )

**Tabla 4.** Índice de cumplimiento de la norma nacional en sector 8 por 12 meses. Se representan el número de registros dentro de la norma (<) y el número de registros que excedieron la norma nacional (>). Las registros de CO y  $O_3$  corresponden a periodos de 8 horas y los de  $SO_2$  y  $PM_{2,5}$  a periodos de 24 horas. (Mes 1: Julio 2010 a Mes 12: Junio 2011).

Meses Sector 8	CO (8h)		$O_3$ (8h)		$SO_2$ (24h)		$PM_{2,5}$ (24h)	
	<	>	<	>	<	>	<	>
Mes 1	98	0	100	0	29	0	30	0
Mes 2	100	0	98	0	28	0	30	0
Mes 3	90	20	110	0	30	0	30	0
Mes 4	112	0	112	0	30	0	30	0
Mes 5	110	0	99	0	30	0	30	0
Mes 6	100	0	101	0	30	0	30	0
Mes 7	89	0	89	0	15	0	30	0
Mes 8	99	0	93	0	17	0	30	0
Mes 9	50	47	94	0	15	0	30	0
Mes 10	110	0	88	0	17	13	30	0
Mes 11	88	0	93	0	23	0	30	0
Mes 12	59	53	102	0	17	0	28	0

**Tabla 5.** Correlación de CO, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub> en el sector 8 durante 12 meses de seguimiento, Correlación de Spearman, \*p<0,05 \*\*p<0,01.

	CO	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>2,5</sub>
CO	1	$r = -0,055$ $p = 0,8$	-0,357 0,4	-0,283 0,4
O <sub>3</sub>	-0,055 0,8	1	0,500 0,2	<b>0,743**</b> <b>&lt;0,01</b>
SO <sub>2</sub>	-0,357 0,4	-0,500 0,2	1	0,381 0,3
PM <sub>2,5</sub>	-0,283 0,4	<b>0,743**</b> <b>&lt;0,01</b>	0,381 0,3	1

#### Cofactores ambientales durante el seguimiento por un año

En cada uno de los sectores evaluamos si cofactores ambientales modificaban las concentraciones de los gases y de las partículas. La humedad, la temperatura y la dinámica de los vientos no modificaron significativamente las concentraciones de los gases y de las partículas, tal vez debido a que se mantuvieron constantes durante el periodo evaluado en cada sector semanal. El ciclo diurno/nocturno presentó una correlación moderada con el ozono en todos los sectores pero no de forma significativa.

A pesar que la humedad (media 89%, mínimo 64%, máximo. 95%) y la temperatura (29° C mín. 24°, máx. 35°) tuvieron cambios importantes mes a mes durante el seguimiento por un año, no se correlacionaron con los niveles de los contaminantes. Las corrientes de aire estuvieron estables en la mayor parte del tiempo, pero la velocidad (17,5 Km/h mín 9,8, máx. 34,5) fue mayor durante los meses de noviembre, diciembre y enero, sin correlacionarse con cambios en los niveles de los gases o partículas ( $r = 0,12$   $p$  0,1). Durante el ciclo diurno/nocturno El SO<sub>2</sub> y las PM<sub>2,5</sub> parecen tener una tendencia a aumentar durante la jornada diurna, tal vez debido al mayor tráfico de vehículos. Para el caso del ozono su concentración aumentó progresivamente a partir de las 7:00 a.m., alcanzando su máximo nivel a la 1:00 p.m. (48,7 mcg/m<sup>3</sup>) y observamos que los niveles de O<sub>3</sub> eran mayores cuando aumentaba la temperatura ( $r = 0,4$   $p$  < 0,01).

Durante la mayor parte del monitoreo no hubo lluvias en la ciudad (89%). Las lluvias no afectaron de manera importante las concentraciones de los gases mientras que si reducían en un promedio de 20% la concentración de PM<sub>2,5</sub>.

## DISCUSIÓN

La contaminación atmosférica se define como la presencia de material indeseable en el aire, en cantidades bastante altas como para producir efectos nocivos, considerándose un importante factor de riesgo para el desarrollo de problemas de salud, especialmente de enfermedades cardiopulmonares<sup>8-10</sup>. La monitorización de la concentración de los gases y partículas es parte de las políticas de salud pública en Colombia, pero solo se realiza en algunas ciudades. En Medellín, la red de monitoreo del aire del área metropolitana del valle de Aburrá (REDAIRE), presentó los resultados de un estudio hecho durante el año 2005 donde las partículas suspendidas totales superaron levemente la norma anual de calidad del aire (100 mcg/m<sup>3</sup>)<sup>11</sup>. En la ciudad de Bogotá, se ha observado un notable deterioro de la calidad del aire en los últimos 15 años, especialmente por un aumento del material particulado como consecuencia del crecimiento del tráfico vehicular<sup>12</sup>. Solo en Medellín, Bogotá, Bucaramanga y Cali se han creado redes de monitoreo, mientras que en el resto del país no existen y los datos de medición de los gases y partículas son escasos y solo se han realizado por cortos periodos de tiempo.

El impacto que tienen los contaminantes en el aire en la salud pública es ampliamente reconocido, y aunque actualmente no se conoce exactamente su efecto en la población colombiana, es importante resaltar que los niveles máximos permitidos actualmente en Colombia, son superiores a lo permitido en la normativa de varios países europeos y en Estados Unidos, lo que aumenta el riesgo de desarrollar enfermedades sistémicas y pudiera explicar por lo menos parcialmente, la alta incidencia de enfermedades respiratorias como asma y EPOC. En este trabajo se evaluó por primera vez la calidad del aire en ocho sectores de la ciudad de Cartagena y se encontró que los niveles de CO son mayores que los informados previamente en Medellín y Bogotá, aunque también dentro de los límites permitidos por la reglamentación nacional. Curiosamente los niveles encontrados en estas tres ciudades de Colombia son tres a cinco veces más altos que los descritos en California (USA)<sup>13, 14</sup> y concuerdan con los niveles de CO de otros países latinoamericanos, lo que apoya la hipótesis de que en los países en vías de desarrollo las concentraciones de



gases y partículas son en general mayores que en los países europeos o de Norteamérica <sup>15</sup>, tal vez como consecuencia del proceso de industrialización existente en Latinoamérica y al incremento en el consumo de combustible derivado de fósiles con alta liberación de gases y partículas. Similar a lo reportado en Bogotá, en Cartagena encontramos niveles bajos de  $O_3$  en todos los sectores estudiados, pero con una concentración mayor durante el día en comparación a las concentraciones durante la noche, posiblemente porque la formación de ozono se da por una reacción fotoquímica entre los óxidos de nitrógeno y la radiación ultravioleta proveniente del sol.

Contrario a lo que esperábamos, las concentraciones de los gases y las asociaciones entre  $CO$ ,  $O_3$ ,  $SO_2$  y  $PM_{2,5}$  variaron mucho en cada sector. También se observó durante el seguimiento por un año en el sector 8, que el  $CO$  y el  $SO_2$  presentaban aumentos y descensos bruscos en diferentes momentos mientras que el  $O_3$  y las  $PM_{2,5}$  tuvieron una asociación que no se encontró en los otros sectores estudiados. Estos resultados sugieren que existen diferentes fuentes de emisión distribuidas en la ciudad para cada una de estas sustancias y que en ocasiones son compartidas, por lo que es necesario realizar un inventario de las fuentes de emisión móviles y fijas y un monitoreo continuo para poder comprender mejor su impacto en la salud de las personas expuestas. La identificación de las fuentes productoras de partículas y otros gases puede facilitar la aplicación de políticas de control para reducir sus concentraciones, cómo se ha hecho en varias ciudades entre ellas Bogotá, donde desde el 2001 se han tomado medidas para mejorar la calidad de los combustibles derivados del petróleo utilizados por los vehículos, con la consecuente reducción de las concentraciones de  $CO$ ,  $SO_2$  y  $PM_{10}$  y  $PM_{2,5}$  <sup>16</sup>.

La única asociación que se mantuvo en varios sectores fue la de  $SO_2$  y  $PM_{2,5}$  que coincidió con los dos sectores cercanos a carreteras con alto tráfico vehicular, demostrando que en Cartagena, los vehículos a motor son una importante fuente de ambos contaminantes. La fuente de la cual provienen las partículas (cenizas, hollín, polvo, etc.) es importante, ya que aunque cualquier partícula de pequeño tamaño puede entrar a las vías respiratorias inferiores y causar problemas respiratorios. Las partículas provenientes de la combustión de gasolina o diesel suelen ser finas y ultrafinas ( $PM_{2,5}$  o  $PM_{0,1}$ ), con un centro de carbono y una amplia área de superficie que permite la unión

de miles de sustancias como metales, alérgenos, componentes orgánicos volátiles y otras partículas con las que pueden formar agregados con alto potencial irritativo <sup>17</sup>.

La elevada concentración de  $PM_{2,5}$  en todos los sectores se debe a las múltiples fuentes de emisión de estas partículas presentes en la ciudad; junto al aumento del tráfico vehicular, actualmente en Cartagena se construyen varias obras públicas que llevan a movimientos de tierra y apilamientos de escombros, además en una buena parte de la población aún se da la quema de basuras y el uso de carbón y leña para la cocción de los alimentos. Debido a que Cartagena es una ciudad costera, las brisas marinas favorecen la resuspensión del polvo y el transporte de las partículas a puntos distantes a su fuente de producción, lo que contribuye a que los niveles de las partículas sean también altos en los sectores alejados del tránsito vehicular superando lo encontrado en otras ciudades y lo recomendado por la reglamentación nacional y el EPA <sup>18</sup>.

Si bien es necesaria una exploración más detallada, preferiblemente con varias estaciones de monitoreo, se observó que en Cartagena la concentración de los gases se encuentra durante la mayor parte del tiempo dentro de los límites establecidos por la norma nacional. Sin embargo, las altas concentraciones de partículas y su asociación con  $SO_2$  podrían ser un importante factor de riesgo para el desarrollo de enfermedades respiratorias las cuales son frecuentes en esta ciudad <sup>19</sup>. Es necesario diseñar programas de salud pública entre las autoridades ambientales y las empresas o particulares involucrados, para identificar y determinar la contribución de las diversas fuentes de emisión de gases y partículas presentes en cada sector de la ciudad, con el fin de prevenir y mitigar los impactos en la salud y el medio ambiente.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Colciencias por el apoyo financiero para la consecución de los equipos de monitoreo. Proyecto: “Identificación de factores de riesgo para el desarrollo de asma y atopia en una región tropical” contrato 325-2006 (Código 110734319164) y a la Alcaldía de Cartagena por el apoyo institucional para ubicación de los equipos de monitoreo en los colegios y la seguridad de los mismos a través de la policía municipal.

## CONSIDERACIONES ÉTICAS

Este estudio fue aprobado por el comité de ética de la Universidad de Cartagena como parte del proyecto “*Identificación de factores de riesgo de asma y alergia en una región tropical*” financiado por Colciencias (Código 110734319164) respetando el decreto 8430 de 1993 que rige la investigación en Colombia que regula las investigaciones en humanos y en el medio ambiente. Los equipos fueron ubicados en estaciones de policía y colegios de la ciudad por lo que previamente solicitamos el permiso de las directivas de las instituciones educativas y de la alcaldía de Cartagena.

## CONFLICTO DE INTERESES

Declaramos no tener conflicto de intereses con ninguna persona o institución en la realización de este estudio.

## REFERENCIAS

1. Laumbach RJ, Kipen HM. Respiratory health effects of air pollution: Update on biomass smoke and traffic pollution. *J Allergy Clin Immunol*. 2012;129(1):3-11.
2. Moore K, Neugebauer R, Lurmann F, Hall J, Brajer V, Alcorn S, et al. Ambient ozone concentrations cause increased hospitalizations for asthma in children: an 18-year study in Southern California. *Environ Health Perspect*. 2008;116(8):1063-70.
3. Delfino R. Epidemiologic evidence for asthma and exposure to air toxics: linkages between occupational, indoor, and community air pollution research. *Environ Health Perspect*. 2002;110 (Suppl 4) 573-89.
4. Vergara C, Sanchez J, Martinez B, Caraballo L. Epigenética en Asma. *Iatreia*. 2009;22(4):359-71.
5. Sanchez J. Physicochemical characteristics of gaseous and particulate air pollutants. Their impact on asthma. *Iatreia*. 2012;25(4):369-79.
6. Dennis R, Caraballo L, Garcia E, Caballero A, Aristizabal G, Cordoba H, et al. Asthma and other allergic conditions in Colombia: a study in 6 cities. *Ann Allergy Asthma Immunol*. 2004;93(6):568-74.
7. Caraballo L, Cadavid A, Mendoza J. Prevalence of asthma in a tropical city of Colombia. *Ann Allergy*. 1992;68(6):525-9.
8. Villeneuve PJ, Chen L, Rowe BH, Coates F. Outdoor air pollution and emergency department visits for asthma among children and adults: a case-crossover study in northern Alberta, Canada. *Environ Health*. 2007;6:40.
9. Heinrich J, Wichmann HE. Traffic related pollutants in Europe and their effect on allergic disease. *Curr Opin Allergy Clin Immunol*. 2004;4(5):341-8.
10. Nordling E, Berglind N, Melén E, Emenius G, Hallberg J, Nyberg F, et al. Traffic-related air pollution and childhood respiratory symptoms, function and allergies. *Epidemiology*. 2008;19(3):401-8.
11. Gómez M. Red de Vigilancia de la Calidad de Aire en Antioquia. *RedAire*. 2005.
12. Gaitán M, Cancino J, Behrentz E. Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá. *Revista de Ingeniería*. 2007;26, 11: 81-92
13. Delfino RJ, Staimer N, Gillen D, Tjoa T, Sioutas C, Fung K, et al. Personal and ambient air pollution is associated with increased exhaled nitric oxide in children with asthma. *Environ Health Perspect*. 2006;114(11):1736-43.
14. Wilhelm M, Meng YY, Rull RP, English P, Balmes J, Ritz B. Environmental public health tracking of childhood asthma using California health interview survey, traffic, and outdoor air pollution data. *Environ Health Perspect*. 2008;116(9):1254-60.
15. Calderón-Garcidueñas L, Mora-Tiscareño A, Fordham LA, Valencia-Salazar G, Chung CJ, Rodríguez-Alcaraz A, et al. Respiratory damage in children exposed to urban pollution. *Pediatr Pulmonol*. 2003;36(2):148-61.
16. Leung TF, Ko FW, Wong GW. Roles of pollution in the prevalence and exacerbations of allergic diseases in Asia. *J Allergy Clin Immunol*. 2012;129(1):42-7.
17. Babin SM, Burkom HS, Holtry RS, Taberner NR, Stokes LD, Davies-Cole JO, et al. Pediatric patient asthma-related emergency department visits and admissions in Washington, DC, from 2001-2004, and associations with air quality, socio-economic status and age group. *Environ Health*. 2007;6:9.
18. Nestor R, Galvis B. Relación entre PM2.5 y PM10 en la ciudad de Bogotá. *Revista de Ingeniería*. 2005;22:7.
19. Acevedo N, Sánchez J, Zakzuk J, Bornacelly A, Quiróz C, Alvarez A, et al. Particular characteristics of allergic symptoms in tropical environments: follow up to 24 months in the FRAAT birth cohort study. *BMC Pulm Med*. 2012;12:13.

## MATERIAL COMPLEMENTARIO

Material complementario - Tabla 1.

#1	CO	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>2.5</sub>	#2	CO	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>2.5</sub>
CO	1	$r = 0.403$ $p = 0.6$	-0.086 $p = 0.8$	-0.086 $p = 0.8$	CO	1	$r = -0.811$ $p = 0.1$	-0.013 $p = 0.9$	-0.164 $p = 0.8$
O <sub>3</sub>	0.403 0.6	1	-0.801 0.2	-0.600 0.4	O <sub>3</sub>	-0.811 0.1	1	-0.087 0.9	-0.114 0.8
SO <sub>2</sub>	-0.086 0.8	-0.801 0.2	1	<b>0.886*</b> <b>0.01</b>	SO <sub>2</sub>	-0.013 0.9	-0.087 0.9	1	<b>0.970*</b> <b>0.02</b>
PM <sub>2.5</sub>	-0.086 0.8	-0.600 0.4	<b>0.886*</b> <b>0.01</b>	1	PM <sub>2.5</sub>	-0.164 0.8	-0.114 0.8	<b>0.970*</b> <b>0.02</b>	1
#3	CO	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>2.5</sub>	#4	CO	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>2.5</sub>
CO	1	$r = 0.143$ $p = 0.7$	0.286 0.5	0.429 0.3	CO	1	$r = -0.016$ $p = 0.9$	0.650 0.2	0.204 0.7
O <sub>3</sub>	0.143 0.7	1	-0.679 0.09	-0.143 -0.7	O <sub>3</sub>	-0.016 0.9	1	-0.535 0.3	-0.228 0.7
SO <sub>2</sub>	0.286 0.5	-0.679 0.09	1	0.429 0.3	SO <sub>2</sub>	0.650 0.2	-0.535 0.3	1	0.228 0.7
PM <sub>2.5</sub>	0.429 0.3	-0.143 -0.7	0.429 0.3	1	PM <sub>2.5</sub>	0.204 0.7	-0.228 0.7	0.228 0.7	1
#5	CO	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>2.5</sub>	#6	CO	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>2.5</sub>
CO	1	$r = -0.703^*$ $p = 0.01$	-0.409 0.2	0.100 0.8	CO	1	$r = -0.473$ $p = 0.1$	0.319 0.2	-0.346 0.2
O <sub>3</sub>	<b>-0.703*</b> <b>0.01</b>	1	-0.127 0.7	-0.011 0.9	O <sub>3</sub>	-0.473 0.1	1	-0.516 0.7	0.467 0.1
SO <sub>2</sub>	-0.409 0.2	-0.127 0.7	1	0.182 0.5	SO <sub>2</sub>	0.319 0.2	0.516 0.7	1	-0.170 0.5
PM <sub>2.5</sub>	0.100 0.8	-0.011 0.9	0.182 0.5	1	PM <sub>2.5</sub>	-0.346 0.2	0.467 0.1	-0.170 0.5	1
#7	CO	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>2.5</sub>	#8	CO	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>2.5</sub>
CO	1	$r = -0.400$ $p = 0.9$	0.887 0.1	0.794 0.2	CO	1	$r = 0.925^*$ $p = 0.02$	0.788 0.1	-0.062 0.9
O <sub>3</sub>	-0.400 0.9	1	-0.463 0.4	0.322 0.5	O <sub>3</sub>	<b>0.925*</b> <b>0.02</b>	1	0.719 0.1	0.230 0.7
SO <sub>2</sub>	0.887 0.1	-0.463 0.4	1	-0.159 0.7	SO <sub>2</sub>	0.788 0.1	0.719 0.1	1	0.331 0.5
PM <sub>2.5</sub>	0.794 0.2	0.322 0.5	-0.159 0.7	1	PM <sub>2.5</sub>	-0.062 0.9	0.230 0.7	0.331 0.5	1