

Contaminación atmosférica y sus efectos en la salud en Bucaramanga

Laura Andrea Rodríguez Villamizar, MD MSc*
Henry Castro Ortiz, Ing **
Juan José Rey Serrano, MD MSc ***
Astrid Berena Herrera López, Ft MSc+
Jürg Niederbacher Velázquez, MD Esp++

Introducción

La contaminación atmosférica se define como la presencia en el aire de materias o formas de energía que impliquen riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza¹. Uno de los principales contaminantes presentes en el aire es el Material Particulado (PM, por sus siglas en inglés) que consiste en una mezcla de sustancias líquidas y sólidas de tipo orgánico e inorgánico como sulfatos, nitratos, carbón, polvo mineral y agua, principalmente, que se encuentran suspendidas en el aire².

En los últimos años, se ha prestado considerable atención a los efectos adversos de la contaminación atmosférica sobre la salud³ y aunque ésta puede afectar diferentes sistemas y órganos, la atención se ha centrado en el incremento de la morbilidad y mortalidad en enfermedades respiratorias y cardiovasculares en humanos.

Estudios epidemiológicos realizados en diferentes países⁴ han documentado la asociación entre el material particulado fracción respirable menor a 10 micras (μ) (PM10) y el mayor riesgo para enfermedades respiratorias, muertes prematuras⁵, agudización del asma bronquial⁶, exacerbaciones de la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC)^{7,8}, mortalidad prematura y con ello un efecto negativo sobre el aumento en las consultas al servicio de urgencias, hospitalizaciones, e incluso en la disminución del flujo espiratorio en el primer segundo (es la cantidad de aire expulsado durante el primer segundo de la espiración máxima, realizada tras una inspiración máxima) y del crecimiento pulmonar en los niños⁹.

También se ha descrito que los niños, los adultos mayores y las personas con enfermedades crónicas son poblaciones más susceptibles a los efectos negativos de la contaminación del aire^{10,11}. Este hallazgo es explicado por razones biológicas, como la acción inmadura o disminuida del sistema inmunológico, así que si se tiene



en cuenta que el material particulado entra al organismo por medio del tracto respiratorio es de esperarse que se produzcan mayores efectos respiratorios en estas personas susceptibles¹².

La morbilidad respiratoria en Bucaramanga es una de las más altas en Colombia, especialmente en población pediátrica de 0 a 4 años de edad. Un estudio realizado en seis ciudades del país estimó una prevalencia de asma de 8,8% en la ciudad en este rango de edad, siendo la más alta entre las ciudades estudiadas¹³.

En el ámbito nacional, el estudio de la calidad del aire en relación con la salud se ha realizado en las ciudades de Bogotá y Cali, principalmente. En los últimos años se ha desarrollado investigación aplicada en esta área en la ciudad de Bucaramanga, como resultado del interés y esfuerzo conjunto de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), el Observatorio de Salud Pública de Santander (OSPS) y la Escuela de Medicina de la Universidad Industrial de Santander (UIS), apoyados por las secretarías de salud departamental de Santander (SSS) y municipal de Bucaramanga (SSAB), Colciencias y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT).

Desde 2006 este grupo de trabajo ha desarrollado una serie de investigaciones que han tenido como finalidad caracterizar la contaminación atmosférica en la ciudad de Bucaramanga y estudiar los efectos, principalmente sobre la salud respiratoria, en poblaciones con diferentes características. El propósito de esta línea de trabajo e investigación es aportar conocimientos que permitan orientar medidas preventivas y correctivas que mejoren las condiciones de salud y la calidad del aire en la ciudad y sus áreas cercanas. El desarrollo de estos proyectos se ha realizado por medio de las siguientes fases consecutivas que han abordado objetivos diferentes:

*Asesora Observatorio de Salud Pública de Santander y Profesora Departamento de Salud Pública, Escuela de Medicina Universidad Industrial de Santander

**Coordinador Red de Monitoreo de la Calidad del Aire, Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB)

***Asesor de salud pública, Observatorio de Salud Pública de Santander

+Magíster en epidemiología, Universidad Industrial de Santander

++Neumólogo pediatra, Instituto Neumológico del Oriente y Profesor Departamento de Pediatría, Escuela de Medicina Universidad Industrial de Santander

Fase 1 (2006-2008): estudio del efecto de la contaminación atmosférica en la salud respiratoria de preescolares.

Fase 2 (2008-2010): avances en la caracterización físico-química de los contaminantes, de la exposición y del efecto en poblaciones susceptibles.

Fase 3 (2009-2010): estudio del efecto de los contaminantes biológicos intradomiciliarios.

En este artículo se presenta un resumen de los estudios realizados en cada una de las fases, que han sido publicados previamente, y se dan conclusiones y recomendaciones generales de acuerdo con los hallazgos de la línea de investigación desde 2006 hasta la fecha.

Primera fase 2006-2008. Estudio del efecto de la contaminación atmosférica en la salud respiratoria de preescolares¹⁴

Este estudio partió de la observación, corroborada por una investigación previa, de que en Bucaramanga las enfermedades respiratorias y específicamente el asma, tienen una prevalencia alta comparada con la de otras ciudades de Colombia y que a su vez estas enfermedades son una de las primeras causas de atención en la población pediátrica en el departamento¹⁵. En este primer estudio además de la CDMB, OSPS y UIS participó también la Secretaría de Salud de Santander, en el área ambiental, instituciones que cooperaron en tiempo y recursos para el desarrollo de un proyecto de investigación que finalmente fue cofinanciado por Colciencias en la convocatoria dirigida a la solución de problemas en salud pública del año 2006.

Objetivo: el objetivo del estudio fue determinar la asociación entre la contaminación atmosférica externa, determinada por la concentración diaria de PM₁₀, y el desarrollo de síntomas respiratorios en preescolares (menores de siete años) de Bucaramanga, Colombia.

Metodología: con esta finalidad se realizó un estudio de cohorte prospectiva que evaluó la ocurrencia de episodios (incidencia) de síntomas respiratorios durante un año (2007-2008) en preescolares residentes en dos zonas de la ciudad con mediciones extremas de material particulado de 10 micras (PM₁₀).

Para la definición de las dos zonas de estudio desde el año 2005 se realizó por parte de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de la CDMB la evaluación de las concentraciones diarias promedio de PM₁₀ en diferentes puntos de la ciudad; finalmente los resultados de los monitoreos revelaron que el barrio La Joya, en el occidente de la ciudad fue el sitio en Bucaramanga que tenía menor promedio diario de concentración de PM₁₀ (menor de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y que la zona centro era la que tenía mayores promedios diarios (superiores a 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$); de esta forma y atendiendo al objetivo de estudiar el efecto en zonas residenciales con presencia de preescolares se delimitaron como áreas de estudio de esta zona, los barrios San Miguel, La Concordia y Ricaurte, que se encuentran cercanos geográficamente (ver figura 1).

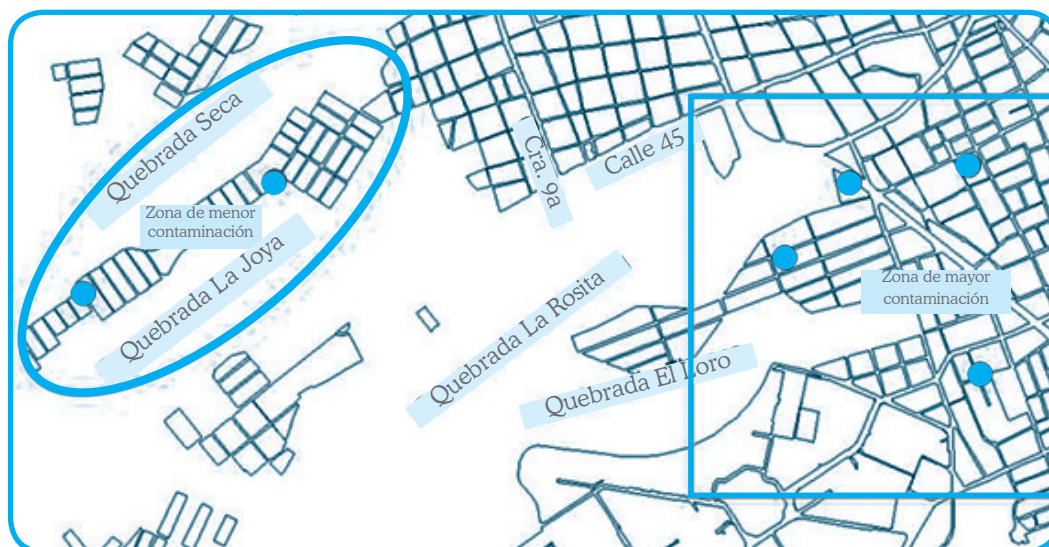


Figura 1. Acercamiento de la ubicación geográfica de las zonas de estudio según niveles de PM₁₀ en aire, Bucaramanga 2006-2010

La población de estudio correspondió a menores de siete años (preescolares) con residencia mayor de seis meses en las zonas señaladas. La muestra se seleccionó de forma no probabilística partiendo desde el sitio de monitoreo ambiental hacia la periferia de las zonas. Se excluyeron niños con enfermedades cardíacas o respiratorias crónicas o con alteración neurológica crónica (Parálisis cerebral, trastorno de la deglución, etc.). Al inicio del estudio se midió la prevalencia de síntomas respiratorios compatibles con asma por medio del cuestionario ISAAC¹⁶ en su versión validada al español¹⁷.

Posteriormente se hizo seguimiento de los participantes durante un año para medir la aparición de síntomas respiratorios (tos seca, tos con flemas, estornudo, asfixia, sibilancias, estornudo, uso de inhalador y necesidad de consulta médica/hospitalización por síntomas respiratorios), la cual se realizó mediante el uso de un calendario diario que era diligenciado por padres o cuidadores. El equipo investigador recogió los calendarios mensualmente y verificaron el registro diario de forma telefónica.

Para la medición de PM₁₀ se utilizaron muestreadores manuales de alto volumen Highvol marca Andersen Graseby, por su capacidad para medir este contaminante con precisión y por su capacidad de traslado a diferentes puntos de la ciudad. Los muestreadores, propiedad de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de la CDMB, fueron ubicados en zonas centrales y periféricas de las zonas seleccionadas (ver figura 2). La ubicación, instalación y monitoreo se llevó a cabo de acuerdo a los procedimientos, frecuencias y metodología establecidas en el Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de Calidad del Aire, aprobado por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.



Figura 2. Instrumento manual tipo Highvol para el monitoreo de material particulado, Bucaramanga 2006-2008

En relación con el componente ético, el estudio respetó los principios de autonomía, confidencialidad y beneficencia de acuerdo con las normas internacionales vigentes para investigación en seres humanos¹⁸. El protocolo de investigación fue aprobado por el comité de ética de la Facultad de Salud de la Universidad Industrial de Santander y cumplió con los estándares exigidos por la ley colombiana para la investigación en humanos. El grupo de investigación realizó actividades educativas relacionadas con la salud respiratoria a los padres de los niños y niñas participantes en sus respectivos barrios, asimismo se llevó a cabo canalización a los servicios de salud correspondientes cuando se detectaron alteraciones de la salud en los niños evaluados.

Resultados: en junio de 2007 se estudiaron un total de 768 niños distribuidos en las zonas de mayor y menor contaminación de la ciudad (384 niños en cada zona). En la zona de menor contaminación la totalidad de niños fueron del barrio La Joya, mientras que en la zona de mayor contaminación se incluyeron niños así: San Miguel (n=146), Ricaurte (n=105) y La Concordia (n=133).

La edad promedio de los preescolares fue de $42,8 \pm 25,5$ meses. El 90,4% de los niños estaba afiliado a algún régimen de seguridad social y 65% de los niños que asistían a guarderías lo hacían en las ubicadas dentro del barrio. La composición de las familias de los niños encuestados tenía en promedio seis integrantes de los cuales dos eran menores de 18 años.

Las estructuras de las viviendas se caracterizaban por tener entre tres y cinco cuartos (73%), techos de placa (61%) y pisos de baldosín (95%). En la zona de mayor contaminación se encontraron con mayor frecuencia pequeños talleres de ornamentación, tapicería y carpintería (84% vs 48%). En ese momento se determinó una prevalencia de diagnóstico de asma de 8,4% y de sibilancias durante el último año de 13,9%¹⁹ de acuerdo con el cuestionario ISAAC en su versión validada al español. Ver resultados en la tabla 1.

Tabla 1. Síntomas relacionados con asma y diagnóstico médico de asma en población preescolar según zona de contaminación, Bucaramanga 2006-2008

Variable	Zona mayor contaminación		Zona menor contaminación		Total población	
	(n=384)		(n= 384)		(n= 768)	
	No.	%	No.	%	No.	%
Sibilancias alguna vez en la vida	86	22,4	111	28,9	187	24,3
Sibilancias en el último año	52	13,5	55	14,3	107	13,9
Diagnóstico médico de asma bronquial	24	6,3	41	10,7	65	8,5

Luego de esta encuesta basal permanecieron en el estudio 707 (92%) participantes quienes aceptaron continuar el seguimiento por 12 meses usando el calendario diario de síntomas. Durante el año de seguimiento el 18% de los niños participantes se retiraron del estudio (21,6% en zona de mayor contaminación y 14,3% en la de menor); las razones correspondieron en su orden a cambios de residencia de los participantes (73%), retiros voluntarios (19%) y cambio de sitio de cuidado de los niños (8%).

La mediana de las mediciones diarias de PM10 durante los 12 meses fue de $49,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la sumatoria de los diferentes puntos de monitoreo; en la zona de mayor contaminación fue de $55,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con un rango intercuartílico entre 39,2 y $68,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que en la zona de menor contaminación fue de $32,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ entre 25,9 y $42,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El promedio de las otras variables meteorológicas durante el año de estudio fueron: temperatura $20,6^\circ\text{C}$, precipitación 0,16 mm, humedad relativa 72,6%, ozono $10,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El promedio de síntomas por día (que incluye todos los tipos de síntomas evaluados) fue de 69,42 con un rango intercuartílico entre 54 y 87.

El estornudo y la tos con flemas fueron los síntomas más frecuentes con tasas de incidencia de 277,2 y 203,3 episodios por 100 niños-mes en riesgo, respectivamente. En la zona de mayor contaminación, un aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración atmosférica de PM10 incrementó en 1,3 el número de síntomas diarios reportados. Para el análisis de la asociación entre la zona de contaminación y la aparición de síntomas respiratorios, se ajustó su efecto por variables individuales y residenciales con un modelo Poisson de tipo multinivel. Este análisis mostró ausencia de asociación entre la zona de contaminación y los síntomas respiratorios al ajustar el efecto de la zona de contaminación por otras variables. Por su parte los resultados mostraron que la historia de asma, la exposición a alto flujo vehicular frente a la vivienda y de suelos de tierra, eran las variables que tenían mayor efecto sobre la ocurrencia de síntomas en esta población de preescolares. La presencia de animales domésticos mostró en este estudio un efecto protector, que puede ser explicado bajo la teoría de la higiene, que propone que la exposición de este tipo de contaminantes desde temprana edad produce una maduración del sistema inmune y por tanto menor probabilidad de alergias en edades posteriores (ver tabla 2).

Tabla 2. Variables asociadas con la incidencia de síntomas respiratorios en una cohorte de preescolares residentes en zonas de diferente nivel de contaminación atmosférica, Bucaramanga, 2006 – 2008

Variable	Tasa de incidencia relativa	IC 95%	Valor p
Zona de residencia (mayor contaminación/menor contaminación)	1,09	0,98 - 1,22	0,094
Historia de asma (Si/No)	1,93	1,88 - 1,97	0,000
Exposición a Alto flujo vehicular frente a la casa (Si/No)	1,60	1,52 - 1,68	0,000
Piso de tierra (Si/No)	1,17	1,07 - 1,28	0,001
Tenencia de perro (Si/No)	0,90	0,88 - 0,92	0,000
Tenencia de gato (Si/No)	0,88	0,85 - 0,91	0,000

Conclusión: como conclusión de este estudio encontramos que en preescolares al parecer no existe un efecto contundente de la contaminación atmosférica externa sobre la incidencia de síntomas respiratorios.

A partir de esta observación el equipo investigador derivó otras hipótesis de estudio para aclarar el efecto de la contaminación en la ciudad: la primera fue que la población de preescolares estudiados eran en general población sana en los que posiblemente no se evidenciaba un efecto marcado por la contaminación externa, pero con los resultados de este primer estudio no podría descartarse que los niveles actuales de contaminación tuvieran efecto sobre poblaciones sensibles (con morbilidad crónica) pediátrica o adulta. La segunda hipótesis estuvo relacionada con la observación de varias condiciones intradomiciliarias que en el análisis estuvieron asociadas con el desarrollo de síntomas. De esta manera se comenzó a pensar en el posible efecto adverso de contaminantes intradomiciliarios sobre la población pediátrica, especialmente variables de tipo biológico, como la presencia de hongos y ácaros. La tercera hipótesis estaba relacionada con el efecto producido según el tipo de contaminantes presentes en el aire y la variación de la exposición extra e intradomiciliaria a los mismos.



Segunda fase 2008-2010. Avances en caracterización de los contaminantes, de la exposición y evaluación del efecto de la contaminación atmosférica en poblaciones susceptibles

Como respuesta a los interrogantes e hipótesis generados por el estudio de la primera fase, se avanzó en una segunda fase de estudio mucho más amplia tanto en el componente del estudio de los contaminantes como de los efectos respiratorios en diferentes poblaciones. En ésta se abordaron cuatro componentes:

1. Caracterización de las fuentes fijas y móviles de contaminación del aire.
2. Caracterización físico-química del material particulado y aplicación de técnicas de modelación de receptor - fuentes.
3. Evaluación de la relación entre la concentración de material particulado extra e intradomiciliaria.
4. Determinación del efecto de la contaminación atmosférica en poblaciones con enfermedad cardiovascular o respiratoria crónica (población susceptible).

En esta segunda fase además de la CDMB, el OSPS y la UIS, participaron como instituciones cofinanciadoras: la Secretaría de Salud y Ambiente de Bucaramanga (componente 1) y el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (componentes 2 a 4). A continuación se presentan los resultados más importantes de cada uno de los cuatro componentes que conformaron esta fase:

Componente 1. Monitoreo de fuentes fijas y móviles²⁰

Objetivo: el objetivo de este componente fue caracterizar las zonas de interés, analizando la dinámica de fuentes fijas y móviles de contaminación atmosférica alrededor de las estaciones de monitoreo ambiental.

Metodología: para la caracterización de las fuentes móviles se utilizó el método de observación y conteo diario de vehículos y motos que en total fue de 14 horas diarias por 7 días continuos. El registro fue distribuido en seis sitios que corresponden a puntos de la ciudad en los que la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de la CDMB posee estaciones automáticas y manuales de monitoreo meteorológico y de contaminantes ambientales, principalmente de PM₁₀, ozono troposférico (O₃), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂) y dióxido de azufre (SO₂) que se presentan en el cuadro 1.

El monitoreo diario de fuentes móviles se realizó entre las 6:30 am hasta las 8:30 pm en dos turnos de personal (6:30 am a 1:30 pm y 1:30 pm a 8:30 pm). Se hizo registro de autos, taxis, buses, motos y camiones (fuentes móviles que de acuerdo al tipo de combustible fósil utilizado generan

en diferentes proporciones determinados contaminantes criterio de interés local) en número de unidades por separado contadas en intervalos de 15 minutos, y se definieron los sentidos de la observación de acuerdo con la dirección del tránsito vehicular.

Cuadro 1. Sitios de monitoreo y sentidos de la observación para el análisis de fuentes fijas y móviles de contaminación del aire, Bucaramanga 2009

Punto de Monitoreo	Sentidos de la observación
Centro (Cra. 15 con calle 34)	Norte – Sur
	Sur – Norte
	Occidente – Oriente
Cra. 17 con Diagonal 15 y calle 50	Norte – Sur Cra. 17
	Sur – Norte Cra. 17
	Norte – Sur Cra. 15
	Sur – Norte Cra. 15
La Joya (Cra. 11 occidente con calle 36),	Norte – Sur
Molinos Altos (Edificio Telebucaramanga zona sur)	Norte – Sur
	Sur – Norte
Norte: Hospital Local del Norte	Norte – Sur
Cabecera del Llano: Calle 45 con Cra. 36	Norte – Sur Occidente – Oriente

IC95%: Intervalo de 95% de confianza

De cada sitio de monitoreo y sentido de la observación se realizó un conteo y promedio de fuentes por tipo de vehículo y un promedio de vehículos por hora como una medida de resumen del flujo de fuentes. De manera adicional se realizó el inventario de fuentes fijas de contaminación alrededor de cada Estación de Monitoreo Automática de propiedad de la CDMB.

Resultados: el monitoreo de fuentes móviles se realizó entre el 9 y el 16 de noviembre de 2009. En el mismo periodo de tiempo se llevó a cabo el inventario de fuentes fijas. Los resultados mostraron que el mayor flujo de fuentes móviles se presenta en la zona centro (Diag. 15 con Cra. 17) con un promedio de flujo vehicular entre 160 y 230 vehículos por hora (ver tabla 3). En el punto Molinos Altos, que corresponde a Floridablanca, se observó también un promedio horario similar; en estos dos puntos se registraron altas participaciones de móviles tipo motos (en Molinos) (ver figura 3) y autos (en la Cra. 17, ver figura 4) que llevan a niveles medios y altos de contaminación por contaminantes como PM₁₀ y NO_x, que se ha documentado tienen efectos negativos sobre la salud humana, especialmente a nivel respiratorio. Es importante aclarar que durante la realización de este monitoreo se estaban realizando las obras de construcción

de la infraestructura vial de Metrolínea en la zona sur, razón por la cual el flujo vehicular de la autopista Bucaramanga-Floridablanca en sentido sur-norte estaba desviado por la paralela del barrio Molinos Altos.

Tabla 3. Inventario de fuentes móviles en el punto de monitoreo barrio Centro de Bucaramanga, 2009

Estación	Centro						
Sentido	Sur - Norte						
Tipo fuente móvil	Autos	Taxis	Busetas	Motos	Camiones	Total	Promedio
Entre semana (No.)	1.626	3.602	3.145	3.252	89	11.714	195,2
Porcentaje	14%	31%	27%	28%	1%	100%	
Sábado (No.)	1.877	4.298	2.928	3.526	185	12.814	228,8
Porcentaje	15%	34%	23%	28%	1%	100%	
Domingo (No.)	1.356	3.225	1.923	2.223	42	8.769	182,7
Porcentaje	15%	37%	22%	25%	0%	100%	

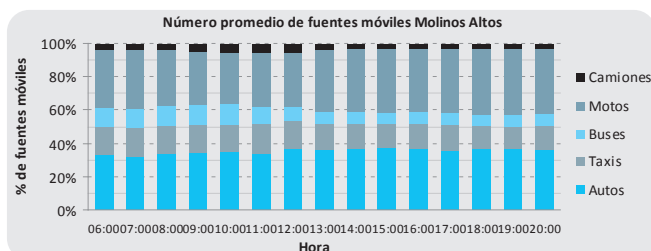


Figura 3. Porcentaje promedio de fuentes móviles por hora en el punto de monitoreo barrio Molinos Altos de Floridablanca, 2009

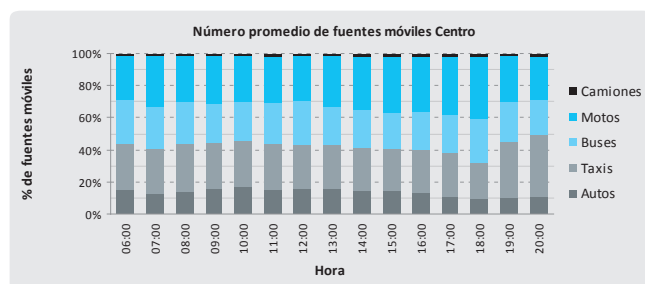


Figura 4. Porcentaje promedio de fuentes móviles por hora en el punto de monitoreo barrio Centro de Bucaramanga, 2009

Los puntos de la Joya y el Hospital Local del Norte (ver tablas 4 y 5) fueron los que registraron menores niveles de fuentes móviles con promedio horarios menores a 100 vehículos, con menor afluencia de buses y camiones (ver figura 5) y con menores niveles de contaminación según los registros de la CDMB.

Tabla 4. Inventario de fuentes móviles en el punto de monitoreo barrio La Joya, Bucaramanga, 2009.

Estación	La Joya					
Sentido	Ubicación general					
Tipo fuente móvil	Autos	Taxis	Busetas	Motos	Camiones	Total
Entre semana (No.)	567	1.740	854	2.133	184	5.478
Porcentaje	10%	32%	16%	39%	3%	100%
Sábado (No.)	627	1.867	521	2.431	175	5.621
Porcentaje	11%	33%	9%	43%	3%	100%
Domingo (No.)	454	1.330	107	1.296	76	3.263
Porcentaje	14%	41%	3%	40%	2%	100%

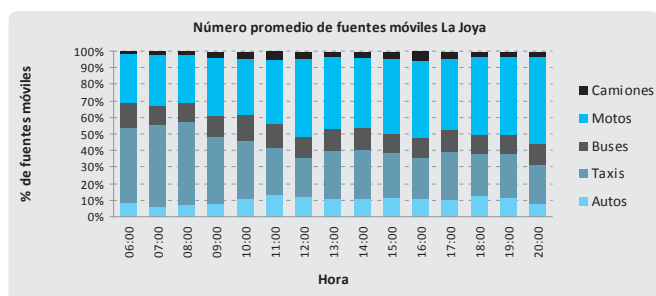


Figura 5. Porcentaje promedio de fuentes móviles por hora en punto de monitoreo en barrio La Joya, 2009.

Tabla 5. Inventario de fuentes móviles en el punto de monitoreo Hospital del Norte, 2009

Estación	Hospital Local del Norte					
Sentido	Ubicación general					
Tipo fuente móvil	Autos	Taxis	Busetas	Motos	Camiones	Total
Entre semana (No.)	1.380	2.034	1.109	2.933	342	7.798
Porcentaje	18%	26%	14%	38%	4%	100%
Sábado (No.)	1.213	1.687	959	2.569	189	6.617
Porcentaje	18%	25%	14%	39%	3%	100%
Domingo (No.)	1.333	1.495	722	2.303	143	5.996
Porcentaje	22%	25%	12%	38%	2%	100%

El conteo de vehículos realizado durante una semana consecutiva (incluido el domingo) tenía también como objetivo determinar en qué medida cada clase de fuente móvil, en función del combustible que use, afecta la calidad del aire en el área de influencia de las estaciones de monitoreo que posean equipos automáticos que reportan información hora a hora. Entre otros hallazgos de interés en estas exploraciones se encontró que el flujo de motos está muy relacionado con la concentración de monóxido de carbono (ver figura 6) y el flujo de buses y busetas que utilizan diesel con la concentración promedio horaria de dióxido de azufre (ver figura 7).

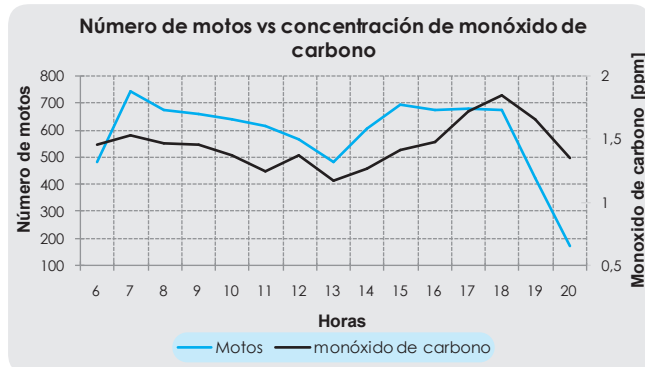


Figura 6. Relación del número de motos y la concentración de monóxido de carbono en la estación Centro, Bucaramanga 2009

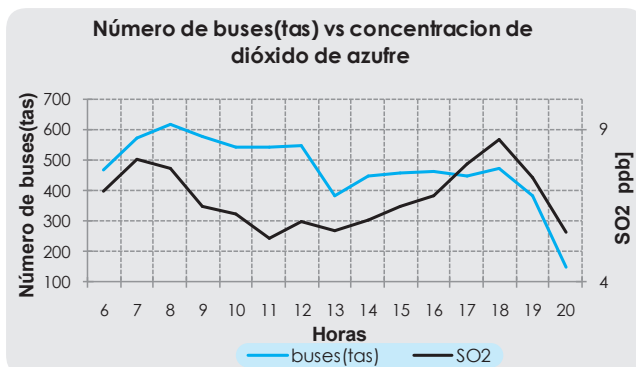


Figura 7. Relación del número de buses y busetas y la concentración de dióxido de azufre en la estación Centro, Bucaramanga 2009

El inventario de fuentes fijas de potenciales contaminantes determinó una mínima presencia de estos establecimientos en las zonas de monitoreo. Se registraron 11 establecimientos en cabecera y 10 en Molinos, principalmente restaurantes de comidas. En la zona centro se encontraron 13 fuentes de tipo comercial (principalmente asaderos de pollo y carne).

Conclusión: como conclusión de este componente de inventario y análisis de fuentes, los vehículos que utilizan combustibles fósiles, como los buses, vehículos y motos, son las principales generadoras de contaminación atmosférica en el municipio de Bucaramanga y en la zona observada de Floridablanca con un aporte menor de establecimientos comerciales e industriales.

Componente 2. Caracterización de material particulado y modelación de fuentes²⁰

Objetivo: el objetivo de este componente fue la caracterización físico-química de los contaminantes que contienen las partículas de PM10 obtenidas de las estaciones de monitoreo ambiental.

Metodología: para el estudio se tomaron 100 filtros de PM10 de los equipos de muestreo y se analizaron 50 muestras para iones-metales y 50 para Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAHs). Se seleccionaron estos tipos de contaminantes dado que están documentados como los más frecuentemente encontrados en el municipio. Las muestras se tomaron entre los diversos puntos de estudio, tanto en época seca como de lluvias.

Las muestras fueron procesadas en el laboratorio de la CDMB y llevadas al Laboratorio Químico de Consultas Industriales de la Universidad Industrial de Santander para el análisis de iones-metales, utilizando los métodos de absorción atómica, espectrofotometría, nefelometría y electrodo Ion selectivo. En el laboratorio de Cromatografía de la misma universidad se realizó análisis de Hidrocarburos Poliaromáticos (PAH) utilizando cromatografía de gases con detector selectivo de masas (GC-MS).

Posteriormente, con los resultados obtenidos, se aplicaron dos modelos receptor-fuente (PMF y UNMIX) aprobados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) con el objeto de identificar y cuantificar el aporte de las fuentes de contaminación atmosféricas en el Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB). Este tipo de modelación comprende técnicas de diversos tipos que se utilizan para establecer la identidad de las fuentes de emisión que contribuyen a las concentraciones de determinados contaminantes en lugares específicos. Estas técnicas incluyen métodos microscópicos, físicos y químicos. Los modelos de tipo químico se basan en la identificación de los denominados perfiles de fuente de emisión y su relación con las concentraciones halladas en un punto determinado. En este caso se supone que las concentraciones de las sustancias químicas que componen al material particulado se encuentran asociadas con las fuentes generadoras

del mismo. Los principales modelos receptores fuentes usados en la actualidad son EPA-CMB (Balance Químico de Masas), EPA-PMF (Factor de Matriz Positiva) y EPA-UNMIX²¹.

Resultados: los resultados del análisis físico-químico para iones-metales mostraron que en términos generales los cloruros (entre 14% y 27%) y sulfatos (entre 21% y 43%) son los iones más abundantes en las muestras recolectadas. El sílice (exceptuando el barrio Ricaurte, se encuentra entre 16% y 50%) y el calcio (exceptuando el barrio Cañaveral, se encuentra entre 8% y 13%) son las especies más abundantes que no son iones. El plomo (entre 0,02% y 0,30%) y el zinc (entre 0,16% y 0,67%) son las especies con menores aportes entre los iones-metales analizados en el estudio (ver tabla 6 y figura 8).

Tabla 6. Parámetros estadísticos iones-metales en el Área Metropolitana de Bucaramanga, 2009-2010

Especie	Promedio (µg/m3)	Valor mínimo (µg/m3)	Fecha valor mínimo	Valor máximo (µg/m3)	Fecha valor máximo
Cloruros (Cl-)	5,47	0,74	19-abr-10	77,19	20-dic-09
Sulfatos (SO4 -2)	5,75	0,04	16-abr-10	42,45	02-mar-10
Nitratos (NO3-)	2,29	0,27	22-may-10	52,88	20-dic-09
Amonio (NH4+)	1,17	0,05	22-may-10	7,98	20-dic-09
Sílice (SiO2)	5,52	0,001	20-dic-09	33,16	22-abr-10
Calcio (Ca)	1,84	0,05	22-may-10	32,20	31-dic-09
Plomo (Pb)	0,04	0,001	16-abr-10	1,82	31-dic-09
Cobre (Cu)	0,12	0,001	22-may-10	1,47	31-dic-09
Hierro (Fe)	1,15	0,04	22-may-10	19,49	31-dic-09
Zinc (Zn)	0,11	0,01	22-may-10	1,57	31-dic-09
Aluminio (Al)	0,13	0,001	16-abr-10	1,78	08-dic-09

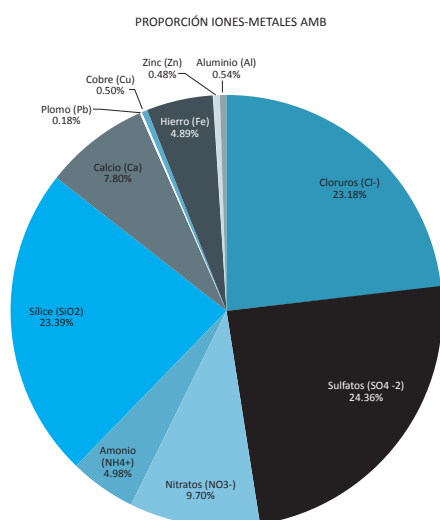


Figura 8. Proporciones promedio de iones-metales en el Área Metropolitana de Bucaramanga, 2009-2010

Los cinco PAHs con valores más altos son Indeno[1,2,3-cd]pireno, Benzo[g,h,i]perileno, Benzo[b]fluoranteno, Benzo[a]pireno y Fenantreno (ver tabla 7 y figura 9). Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados

Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) estos componentes provienen principalmente de quemas, humo de cigarrillo, restaurantes y asaderos, motores diesel, motores a gasolina y cocinas residenciales con leña. Analizando el contexto de las zonas analizadas es de suponer que los principales aportantes sean los motores de los vehículos y los restaurantes y asaderos.

Tabla 7. Parámetros estadísticos iones-metales Área Metropolitana de Bucaramanga, 2009-2010

Especie	Fenantreno	Benzo[b]fluoranteno	Benzo[a]pireno	Indeno [1,2,3-cd]pireno	Benzo [g,h,i]perileno
Promedio	1,06E-05	2,68E-05	1,37E-05	3,07E-05	2,93E-05
Valor mínimo	6,83E-07	7,49E-07	3,75E-07	2,25E-06	7,59E-07
Fecha valor mínimo	13-abr-10	1-may-10	1-may-10	1-may-10	28-abr-10
Valor Máximo	3,41E-05	6,19E-05	5,15E-05	6,73E-05	9,03E-05
Fecha valor máximo	25-ene-10	25-ene-10	25-ene-10	25-ene-10	13-abr-10

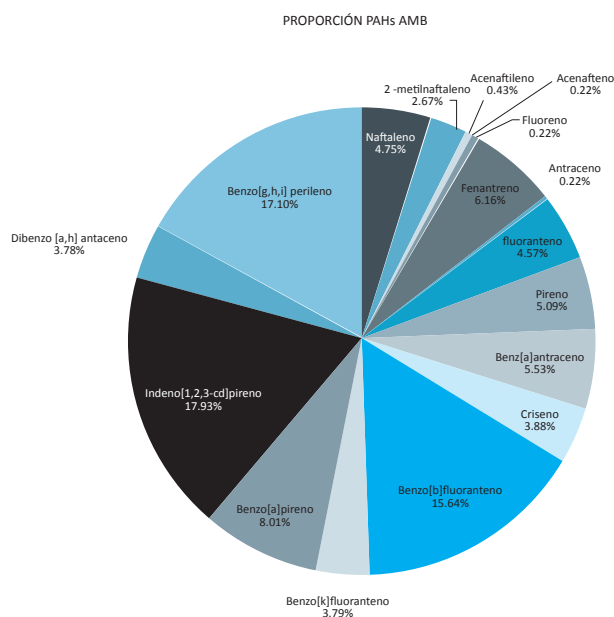


Figura 9. Proporciones promedio de PAHs en el Área Metropolitana de Bucaramanga, 2009-2010

Los resultados del análisis receptor-fuentes con el método PMF, mostraron que una vez revisadas las características de las zonas evaluadas y los perfiles generados se puede atribuir la influencia así: vehículos automotores=61,9%, fuentes geológicas=20,1% y otras fuentes=18%. Otras fuentes engloban a aquellas que no se ven representadas adecuadamente por los componentes típicos del transporte vehicular y los de origen geológico. Los resultados de UNMIX se pueden asignar así: vehículos automotores=54%, fuentes geológicas=32% y otras fuentes=14%. Como pudo observarse en los resultados obtenidos, los porcentajes obtenidos con ambos modelos son esencialmente los mismos y se pueden considerar estadísticamente equivalentes (ver figura 10).

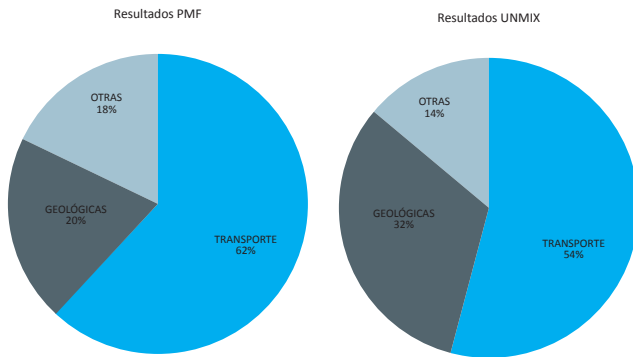


Figura 10. Proporciones promedio de PAHs en el Área Metropolitana de Bucaramanga, 2009-2010

Conclusión: la composición del material particulado de la ciudad está dada principalmente por iones tipo cloruros y sulfatos y algunos PAHs en menores cantidades y su fuente corresponde en más de un 50% a fuentes móviles tipo vehículos.

Componente 3. Evaluación de la exposición extra e intradomiciliaria²⁰

Objetivo: el objetivo de este análisis fue la relación de la concentración de material particulado en exteriores e interiores de viviendas o establecimientos con el fin de determinar si existe alguna relación entre éstas y así determinar la exposición real a contaminantes a partir del monitoreo extradomiciliario.

Metodología: el monitoreo extradomiciliario se realizó utilizando las Estaciones Automáticas y manuales que posee la CDMB en siete sitios estratégicos de Bucaramanga y Cañaveral (ver figura 11). Adicional a las estaciones de monitoreo, se utilizaron dos equipos para medición de PM10 entregados en comodato por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), los cuales se instalaron directamente sobre las viviendas o locales en donde también se midió la

contaminación intradomiciliaria. El punto de referencia de la concentración externa de PM10 fue de $134\mu\text{g}/\text{m}^3$, que corresponde al valor máximo promedio diario permitido en la norma colombiana de calidad del aire ($150\mu\text{g}/\text{m}^3$)²² adaptada a las condiciones geográficas locales.

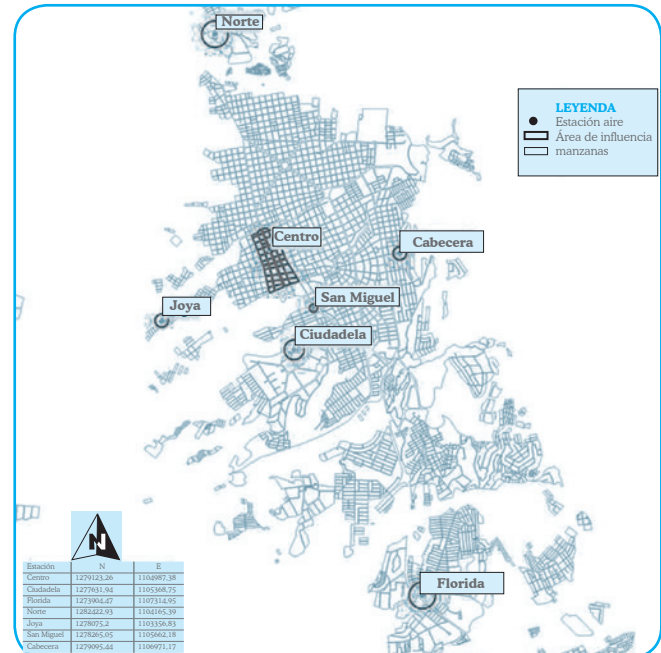


Figura 11. Ubicación de los sitios de monitoreo de la calidad del aire extra e intradomiciliario en Bucaramanga y Floridablanca (Cañaveral) 2009-2010

Para el monitoreo intradomiciliario se realizaron mediciones de PM10 al interior de las viviendas y locales utilizando cinco equipos, tres automáticos y dos manuales, portátiles entregados por el MAVDT, obteniendo resultados cada hora y promedio de 24 horas. Estos equipos son pequeños, portátiles y de bajo nivel de ruido (ver figura 12).

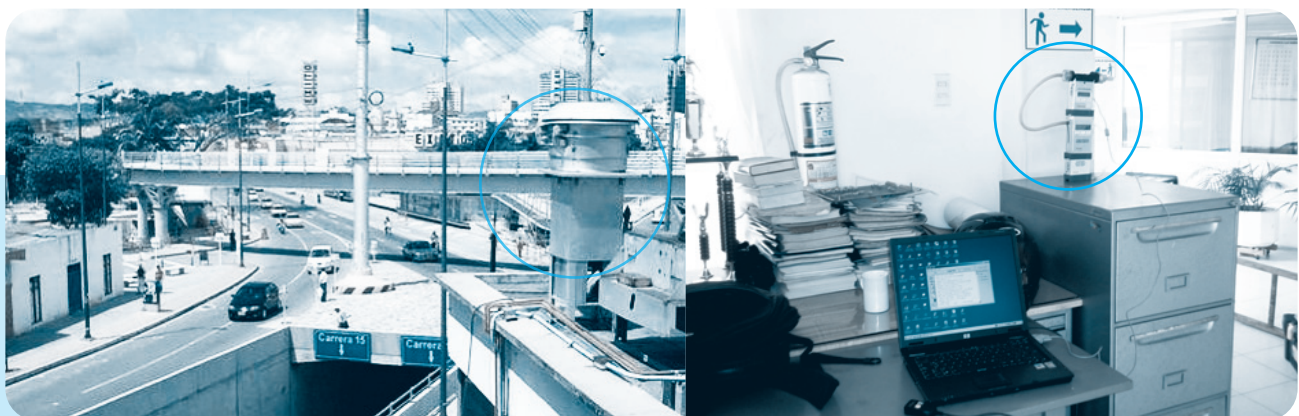


Figura 12. Ilustración de monitoreo de calidad del aire extra e intradomiciliario en zona centro de Bucaramanga, 2010

Resultados: en los resultados se encontró que el mejor acuerdo entre niveles de PM₁₀ intra y extradomiciliario se obtuvo en la zona de baja contaminación externa (La Joya) y el menor acuerdo en la zona media de contaminación (Cabecera y Molinos). En la zona centro (alta) y La Joya (baja) la contaminación intradomiciliaria fue mayor a la registrada en el exterior; mientras que en Molinos (media) se obtuvo el patrón contrario (ver figuras 13 a 15).

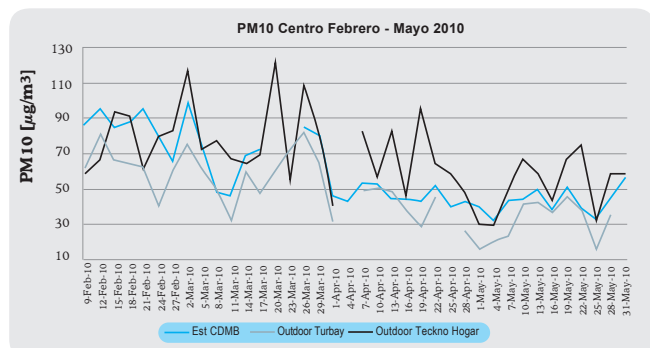


Figura 13. Relación de concentración de PM₁₀ en exteriores e interiores en sitio de monitoreo de zona de mayor contaminación externa, Bucaramanga 2010

Est CDMB=Registro de estación automática de la CDMB ubicada en la zona Outdoor Turbay=Registro de equipo portátil ubicado en la parte externa del edificio Turbay del centro de la ciudad
Indoor Techno Hogar=Registro de equipo portátil ubicado al interior de local comercial del centro de la ciudad

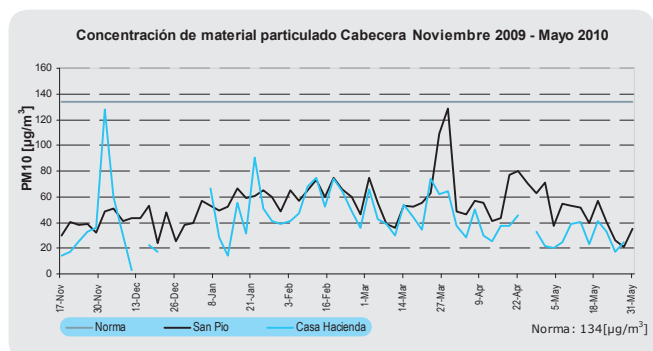


Figura 14. Relación de concentración de PM₁₀ en exteriores e interiores en sitio de monitoreo de zona de contaminación externa media, Bucaramanga 2010

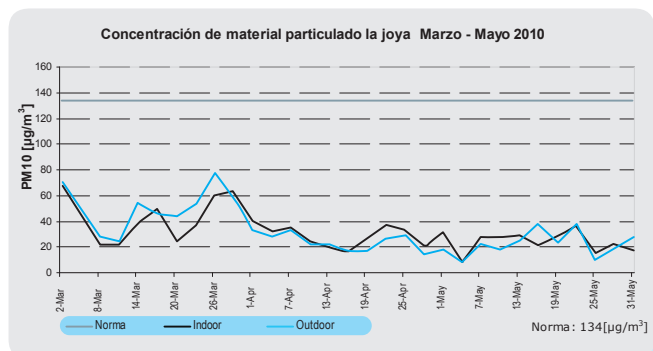


Figura 15. Relación de concentración de PM₁₀ en exteriores e interiores en sitio de monitoreo de zona de menor contaminación externa, Bucaramanga 2010

Estos resultados pueden ser explicados por el tipo de actividades microempresariales que se desarrollan a nivel intradomiciliario en el centro y La Joya. Se observó también que en todos los puntos de monitoreo tanto las mediciones intra como extradomiciliarias tuvieron un punto máximo durante el periodo más seco, específicamente en el mes de enero de 2010 (en el que por ejemplo el punto de Molinos alcanzó un índice de calidad del aire IBUCA de 8,12 de color rojo, indicando alto riesgo para la población en general) y un decremento (proporcional en las dos mediciones) que coincidió con el inicio del periodo de lluvias (en el ejemplo de Molinos en abril el IBUCA bajó a 5,31 color naranja o calidad del aire «regular»).

Conclusión: las concentraciones de PM₁₀ en exteriores son mejores predictores de concentraciones intradomiciliarias en zonas de baja concentración externa, pero de cualquier forma están alteradas por las actividades específicas con tóxicos en el intradomicilio. De esta forma la medición extradomiciliaria de PM₁₀ no es siempre un buen indicador de la exposición intradomiciliaria, es decir de la concentración de PM₁₀ a la que una persona está expuesta al interior de su vivienda o sitio de trabajo.

Componente 4. Estudio del efecto de la contaminación del aire en poblaciones susceptibles²³

Objetivo: el objetivo del estudio fue investigar si la exposición a diferentes niveles de contaminación externa está asociada con la incidencia de síntomas respiratorios en población (de todas las edades) con enfermedad respiratoria o cardiovascular crónica (población sensible).

Metodología: estudio analítico de cohortes con recolección prospectiva. Se consideró como exposición, en este diseño, el nivel de contaminación atmosférica en la que residen los participantes medidos por concentración de material particulado PM₁₀ y se consideró como evento de análisis la aparición o exacerbación de síntomas irritativos o respiratorios. Aparición se refiere a síntomas que se reportan como nuevos por la persona (no estaban presentes en la semana anterior) y como exacerbaciones o aumentos en la intensidad o severidad de los síntomas que ya tenía previamente.

La población objeto del estudio fue la población de Bucaramanga y Floridablanca (Cañaveral), con morbilidad respiratoria o cardiovascular por lo cual se considera población susceptible para la afectación en la salud debida a la contaminación atmosférica. Se tomó como población susceptible a toda persona alrededor de los centros de monitoreo que cumpliera con alguna de las siguientes condiciones:

1. Niño menor de 12 años con enfermedad cardíaca o respiratoria crónica como asma, enfermedad alérgica (como rinitis o conjuntivitis), historia de síndromes bronco-obstructivos o hiperactividad bronquial.
2. Adulto mayor de 60 años con enfermedad pulmonar crónica o cardiovascular (incluida diabetes) con afectación de cualquier órgano blanco.
3. Persona de cualquier edad con enfermedad pulmonar o cardiovascular crónica (incluida diabetes) con afectación de cualquier órgano blanco.

Se excluyeron del estudio las personas que necesitaran uso de oxígeno de forma parcial o permanente y aquellas que por sus condiciones mentales no estaban en capacidad de responder una entrevista o dar su consentimiento informado.

El reclutamiento de la población se realizó por medio de un muestreo no probabilístico haciendo búsqueda de elegibles en forma radial (del centro hasta la periferia) partiendo de los siete puntos de monitoreo de la calidad del aire descritos en el componente tres. Se escogió este tipo de muestreo dada la falta de información georeferenciada de personas con morbilidad cardiovascular o respiratoria por parte de instituciones y aseguradoras en salud; con esta consideración la estrategia de muestreo más eficiente para evitar introducir un sesgo de selección en los participantes era la búsqueda de elegibles casa a casa en los barrios de estudio.

Estos sitios de monitoreo se dividieron en tres rangos diferentes de exposición de acuerdo con los registros históricos de la concentración de material particulado PM10 del Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire: nivel bajo menor a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$; nivel medio entre 40 y $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y nivel alto con concentraciones promedio mayores de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De esta manera se establecieron los grupos de exposición y comparación al inicio del estudio. Sin embargo, dadas las variaciones en las concentraciones de PM10 registradas durante el desarrollo del estudio, para el análisis los grupos de exposición se basaron en la clasificación de acuerdo con los registros actuales y no con los históricos, así:

Zona alta: Centro, Molinos (Floridablanca), Claverianos (norte de Bucaramanga)
Zona media: San Miguel, La Concordia, Ricaurte, Cabecera, Kennedy
Zona baja: La Joya, Ciudadela Real de Minas

Se tomó como variable de salida o desenlace la presencia de síntomas respiratorios en vía aérea superior e inferior (rinorrea, estornudo, tos seca, tos con flemas, asfixia, ruidos en el pecho) y otros síntomas irritativos (lagrimeo, irritación ocular) y la información de morbilidad respiratoria diagnosticada durante el tiempo de seguimiento (seis meses). Para su medición se utilizó una encuesta estructurada inicial con un seguimiento de tipo calendario diario de síntomas para cada participante, similar al utilizado en la fase 1 en población preescolar.

Como posibles variables de confusión se incluyeron el promedio mensual de temperatura, humedad y precipitación de la zona en el mismo periodo de tiempo, las condiciones socioeconómicas y ambientales de la vivienda, el tiempo de residencia en el lugar, hacinamiento, la presencia de animales domésticos en casa, tabaquismo en la vivienda, presencia de actividades de trabajo con emisión de contaminantes dentro de la vivienda o una manzana alrededor, sexo, edad y los antecedentes familiares y personales de enfermedad respiratoria.

Para el análisis de los datos se usaron medidas descriptivas convencionales y se calcularon tasas de incidencia por tipo de síntoma y para la sumatoria de síntomas. Para analizar el efecto del nivel de la exposición sobre los síntomas respiratorios se usó un análisis de tipo multinivel de efectos mixtos de Poisson, teniendo en cuenta que los datos analizados tienen una naturaleza jerárquica (personas en barrios en zonas de diferente concentración de PM10).

El estudio respetó los principios universales de autonomía, confidencialidad y beneficencia. Los menores de edad que participaron, lo hicieron de manera voluntaria, con autorización de los padres o cuidador, siendo éste un criterio de inclusión. Teniendo en cuenta las definiciones de calificación de riesgo de la norma nacional, este estudio es catalogado como «sin riesgo» dado que se trata de entrevistas que no incluyen examen físico y por lo tanto se obtuvo un consentimiento verbal del adulto y del niño/niña y su padre/cuidador. Ante la presencia de síntomas respiratorios se orientó a la familia por parte de auxiliares de campo acerca de los cuidados y las indicaciones para acudir a los servicios de salud de acuerdo con su tipo de aseguramiento.

Resultados: en total se reclutaron 770 personas distribuidas en las zonas de baja (263 personas), media (259 personas) y alta contaminación externa (248 personas). El 23,2% ($n=179$) de los participantes eran menores de edad, casos en los cuales las encuestas iniciales fueron respondidas por sus cuidadores habituales: la madre (62%,



111), otro generalmente la abuela (24%, 43) o el padre (7,8%, 14) y el tío (6,1%, 11).

El rango de edad de los participantes estuvo entre 1 y 90 años con una mediana de 52 años (rango intercuartílico entre 16 y 70 años). Del total de encuestados el 74% correspondía a residentes en estrato socioeconómico 3, 14% a estratos 1 y 2 y solamente el 12% a estratos entre 4 y 6. La tabla 9 muestra algunas características socio-demográficas de la población de estudio.

Tabla 8. Características sociodemográficas de la población de estudio. Bucaramanga, Colombia, 2010

Variable	Zona alta (n=248)		Zona baja (n= 263)		Zona media (n= 259)		Total (n= 770)	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Sexo								
Femenino	150	61,2	167	63,5	152	58,0	469	60,9
Masculino	98	40,0	96	36,5	107	40,8	301	39,1
Edad (mediana en años)	46		49		56		52	
Tiempo de residencia en el sector*								
6 - 12 meses	25	10,2	3	1,1	20	7,6	48	6,2
13 - 18 meses	2	0,8	3	1,1	4	1,5	9	1,2
19 - 24 meses	24	9,8	7	2,7	2	0,8	33	4,3
Mayor de 24 meses	196	80,0	250	95,1	231	88,2	267	87,9
Nivel de escolaridad								
Guardería o jardín	9	3,6	5	1,9	6	2,3	20	2,6
Primaria	108	43,5	92	35,0	106	40,9	306	39,7
Secundaria	74	29,8	100	38,0	90	34,7	264	34,3
Técnico	32	12,9	46	17,5	36	13,9	114	14,8
Universitario	5	2,0	8	3,0	1	0,4	14	1,8
Ninguna	15	6,0	6	2,3	19	7,3	40	5,2
No aplica	5	2,0	6	2,3	1	0,4	12	1,6
Ocupación actual*								
Cesante	24	9,7	1	0,4	12	4,6	37	4,8
Estudiante	42	16,9	7	2,7	43	16,6	92	11,9
Ama de casa	51	20,6	115	43,7	74	28,6	240	31,2
Empleado	10	4,0	6	2,3	13	5,0	29	3,8
Trabajador independiente	40	16,1	28	10,6	34	13,1	102	13,2
Jubilado	18	7,3	16	6,1	32	12,4	66	8,6
No aplica	31	12,5	44	16,7	41	15,8	116	15,1
Régimen de Salud*								
Contributivo	158	63,7	193	73,4	102	39,4	453	58,8
Subsidiado	75	30,2	58	22,1	142	54,8	275	35,7
No afiliado	15	6,0	12	2,6	14	5,4	41	5,3

*Número de registros sin dato por variable: Tiempo de residencia en el sector 3, ocupación actual 88 y régimen de salud 1.

En cuanto a la presencia de contaminantes en las viviendas se encontró que el combustible para cocinar era predominantemente gas (95%) y el uso de leña solo se encontró en el 0,5% de las viviendas. La mitad de las

viviendas reportaron la presencia de dos contaminantes internos y en el 10% se documentaron hasta cuatro.

El consumo de cigarrillos (20,6%) y uso de aerosoles (22,5%) se encontraron como las fuentes de contaminación más frecuentes al interior de las viviendas, siendo más frecuente la presencia de humo de cigarrillo en la zona de baja contaminación y los aerosoles en la de alta contaminación. Por su parte, la presencia de cucarachas y animales domésticos (perros y aves) fueron otros factores ambientales encontrados con bastante frecuencia dentro de las viviendas (51%, 36% y 28%, respectivamente).

En las zonas de estudio se encontraron posibles focos de contaminación atmosférica alrededor de las viviendas dadas principalmente por talleres de zapatería en la zona de baja contaminación (70% de las viviendas estaban ubicadas cerca a estos talleres) y en la zona de alta contaminación por estos talleres junto con talleres dedicados a carpintería/tapicería (64% de las viviendas ubicadas cerca a estos talleres); en la zona media también se encontraron presentes estos focos de contaminantes. Adicionalmente, los habitantes de las zonas altas y media perciben la presencia de alto flujo vehicular alrededor de sus viviendas. Entre los antecedentes familiares el 43% de los participantes de las zonas alta y media manifestaron que sus familiares sufrían de gripas frecuentes, mientras el 38% de los de la zona baja realizaron la misma afirmación. Entre el 32% y 38% de los participantes refirieron antecedentes de asma en algún familiar. En la zona alta el 11,6% tenía antecedentes familiares de bronquitis crónica mientras en las otras zonas esta proporción fue de 7,6%. Finalmente la presencia de antecedente familiar de tuberculosis fue diferente en las tres zonas siendo mayor en la zona alta (8%), seguido de la media (5,4%) y menor en la zona baja (1,5%).

En los antecedentes personales, el 11,2% de los menores de 7 años tenían historia de prematuridad y de los menores de 5 años 84,2% tenían su esquema de vacunación completo para la edad. El 64% afirmó haber estado enfermo del aparato respiratorio en el último año, el 61,8% ha requerido consulta con médico y el 12,6% ha estado hospitalizado por esta causa. En los niños el antecedente de enfermedad crónica más frecuente fue asma (31,1%); se encontraron dos niños con cardiopatía congénita y un niño con diagnóstico de fibrosis quística.

En los adultos los antecedentes de enfermedad respiratoria crónica más frecuentes fueron asma (28,3%), bronquitis (13,4%) y Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (7,3%); no se encontraron antecedentes de hipertensión pulmonar. Entre los antecedentes de enfermedad cardiovascular los más frecuentes fueron hipertensión pulmonar (46,4%), diabetes mellitus (27,1%) e insuficiencia cardíaca congestiva (15,3%).

La prevalencia de ruidos respiratorios en el último año en menores de un año fue de 66,6%; en niños de 1 a 14 años fue de 80% y en adultos a partir de 15 años fue de 43,7%.

De las 770 personas participantes en la encuesta basal, 751 personas (97,5%) participaron también en el seguimiento por medio de un calendario diario de síntomas (244 en zona alta, 247 en zona media y 260 en zona baja). La recolección de los calendarios se realizó en el mes siguiente (mes vencido) por medio de visita domiciliaria por parte de las auxiliares del proyecto con el fin de asegurar su entrega, aclarar y corregir posibles errores de diligenciamiento y recibir inquietudes sobre el estudio. Adicionalmente,

según la necesidad se realizaron seguimientos telefónicos a algunos participantes que por sus manifestaciones o características podrían ser posibles abandonos del estudio; esto con el fin de disminuir la cantidad de pérdidas en la población de estudio y por lo tanto evitar la introducción de un sesgo de selección en el mismo.

En la tabla 9 se muestra la tasa de incidencia del total de síntomas que fue de 46,7 por 100-participantes-día con diferencias significativas entre las zonas de exposición: 62,4 en la zona alta, 74,4 en la media y 53,2 en la zona de menor contaminación externa.

Tabla 9. Tasas de incidencia de síntomas irritativos y respiratorios según zonas observadas de contaminación, Bucaramanga 2009-2010

Síntomas	Zona Alta (37.240 p-días)		Zona Media (31.360 p-días)		Zona Baja (36.540 p-días)		Total (105.140 p-días)	
	Total	Tasa por 100 p-día*	Total episodios	Tasa por 100 p/día*	Total episodios	Tasa por 100 p/día*	Total episodios	Tasa por 100 p/día*
Total síntomas	23.225	62,36	23.345	74,44	19.455	53,24	66.025	62,79
Tos seca	4.077	10,95	4.833	15,41	3.968	10,86	12.878	12,25
Tos con flemas	3.727	10,01	2.782	8,87	2.704	7,40	9.213	8,76
Asfixia	2.678	7,19	3.627	11,57	2.573	7,04	8.878	8,44
Sibilancias	1.791	4,81	1.449	4,62	1.339	3,66	4.579	4,36
Uso inhalador	3.036	8,15	2.004	6,39	1.652	4,52	6.692	6,36
Lagrimero	1.563	4,20	1.998	6,37	1.174	3,21	4.735	4,50
Estornudo	6.353	17,06	6.652	21,21	6.045	16,54	19.050	18,12
Aumento medicinas	594	1,60	469	1,50	180	0,49	1.243	1,18
Aumento síntomas	124	0,33	133	0,42	34	0,09	291	0,28
Visita a Consulta Externa	303	0,81	312	0,99	352	0,96	967	0,92
Visita a urgencias	100	0,27	115	0,37	70	0,19	285	0,27
Visita a hospitalización	64	0,17	174	0,55	68	0,19	306	0,29

*El cálculo de la tasa de incidencia se realizó teniendo como numerador la sumatoria del número de episodios de cada síntoma en cada zona de contaminación y como denominador la sumatoria de días de observación de todos los participantes según zona de exposición. En el caso de la variable total síntomas, el numerador corresponde a la sumatoria del total de todos los síntomas respiratorios (tos seca, tos con flemas, asfixia, sibilancias, uso de inhalador, lagrimero y estornudo).

El análisis multivariado usando un modelo Poisson de tipo multinivel, mostró que luego del ajuste por variables de confusión, la zona de alta contaminación está asociada con un 64% y 77% más riesgo de presentar síntomas respiratorios, comparada con la zona de media y baja contaminación, respectivamente. Este modelo estadístico también mostró que vivir en casas con o alrededor de un

área de construcción fueron variables consistentemente asociadas con la incidencia de la mayoría de síntomas respiratorios en esta población. La tabla 10 muestra los resultados para total de síntomas y sibilancias que fueron las variables que presentaron hallazgos significativos en el análisis estadístico empleado.

Tabla 10. Modelo multivariado multinivel de síntomas respiratorios en zonas de diferente nivel de contaminación atmosférica, Bucaramanga 2009-2010

Variable	Síntomas generales		Sibilancias	
	IRR*	IC 95%	IRR *	IC95%
Área (media/alta)	0,36	0,21-0,62	0,29	0,14-0,62
Área (baja/alta)	0,23	0,12-0,43	0,34	0,15-0,77
Uso de Aerosoles (Si/No)	0,94	0,92-0,97	0,71	0,65-0,78
Presencia de formaciones tipo hongos en vivienda (Si/No)	1,19	1,16-1,23	1,23	1,10-1,37
Presencia de aves en la vivienda (Si/No)	0,89	0,87-0,91	0,76	0,70-0,82
Talleres de ornamentación alrededor de la vivienda (Si/no)	0,87	0,85-0,89	0,65	0,59-0,72
Fábricas de ladrillo/ cemento cercanas (Si/No)	1,15	1,11-1,19	1,6	1,38-1,85
Presencia de basuras alrededor de la vivienda (Si/No)	0,78	0,76-0,80	0,74	0,67-0,82
Sitios de construcciones alrededor de vivienda (Si/No)	1,11	1,08-1,13	0,97	0,89-1,00

*IRR= Incidence Rate Ratio= Razón de tasas de incidencia

La enfermedad respiratoria durante el último año, el diagnóstico de diabetes y de insuficiencia cardíaca congestiva fueron variables que mostraron una modificación del efecto, es decir que en su presencia el aumento de la incidencia de síntomas fue aún mayor.

Conclusión: estos resultados sugieren que en poblaciones susceptibles (crónicamente enfermas) la contaminación externa es un factor de riesgo importante de la ocurrencia de síntomas respiratorios, junto con otras variables de tipo personal y de condiciones de la vivienda y que este efecto negativo se presenta en sitios con concentraciones promedio diario de PM10 que superan los 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tercera Fase. Estudio de contaminantes biológicos intradomiciliarios²⁴

Este componente fue desarrollado como trabajo de grado de una estudiante de la maestría en Epidemiología de la Universidad Industrial de Santander y contó con la financiación económica de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión de la UIS (Proyecto No. 5653).

Objetivo: el objetivo del estudio fue evaluar si la presencia de contaminantes biológicos intradomiciliarios está asociada positivamente con la presencia de síntomas respiratorios compatibles con asma en niños menores de 7 años independiente de la contaminación extradomiciliaria.



Metodología: para su desarrollo se utilizó un diseño analítico de corte transversal. La población estuvo conformada por niños menores de 7 años residentes en zonas de la ciudad de niveles diferentes de contaminación atmosférica medido por PM10, que correspondieron a las zonas delimitadas en la primera fase del estudio. Se incluyeron 678 niños con tiempo de residencia mayor a 12 meses y aceptación voluntaria por los padres; se excluyeron niños o niñas con enfermedades cardíacas, respiratorias o neurológicas crónicas.

Para la evaluación de los síntomas respiratorios compatibles con asma se utilizó el cuestionario ISAAC validado en español para mayores de un año y el cuestionario EILS para menores de un año. A los padres o cuidadores de los niños y niñas participantes se les aplicó además un cuestionario estructurado para determinar la presencia de otros contaminantes extra e intradomiciliarios (tabaquismo, mascotas, industrias dentro o alrededor de la vivienda) y los antecedentes personales y familiares de enfermedades respiratorias.

Por contaminante atmosférico de tipo biológico se entiende la presencia de organismos vivos (como hongos, bacterias o parásitos) suspendidos en el aire. Las mediciones biológicas para ácaros fueron recolectadas usando aspiradoras de alta potencia para obtener polvo doméstico de la cama del participante; la medición de hongos se hizo mediante método gravimétrico utilizando cajas de petri con medio de crecimiento específico para hongos ambientales. Para el análisis de los datos se usaron medidas de frecuencia tipo prevalencia y para el análisis multivariado se utilizó regresión binomial que reportó razones de prevalencia (RP) ajustadas por las variables determinadas como confusoras.

Resultados: se estudiaron 748 niños y niñas con un promedio de 42 meses de edad, que permanecieron en casa en promedio 146 horas a la semana. La prevalencia de síntomas respiratorios compatibles con asma fue del 8,0%; (IC95%: 5,6 – 9,6), sin diferencias estadísticamente significativas entre las dos zonas de contaminación extradomiciliaria. Para estimar esta prevalencia se aplicó la metodología Rash a las escalas ISAAC Y EISL con el fin de obtener una medida unidimensional de las escalas y se tomó como punto de corte un puntaje de 0,5 que corresponde a una probabilidad de 50% de que el niño/a tenga síntomas respiratorios compatibles con asma. El análisis multivariado utilizó un modelo binomial que mostró que los síntomas compatibles con asma se asociaron con la presencia de ácaros RP: 1,78; (IC95%: 1,04 – 3,0), Acremonium sp RP: 6,24; (IC95%: 3,8 – 10,0) y antecedentes de neumonía RP: 4,0; (IC95%: 2,5 – 6,4), de rinitis alérgica RP: 1,9; (IC95%: 1,15 – 3,1), prematuridad RP: 3,42; (IC95%: 1,79 – 6,5), padres con asma RP: 2,6; (IC95%: 1,4 – 5,0) y tenencia de mascotas RP: 0,45; (IC95%: 0,22 -0,92).

Conclusión: los resultados de este estudio permiten afirmar que la exposición a contaminantes biológicos intramurales y los antecedentes respiratorios personales y familiares se relacionan con síntomas indicativos de asma bronquial en la población pediátrica de Bucaramanga. La principal aplicación de estos resultados está relacionada con la identificación tempranamente de los niños con antecedentes de rinitis alérgica, neumonía, prematuridad y antecedente familiar de asma, con el fin de dar recomendaciones en la eliminación de contaminantes biológicos (hongos y ácaros), y así evitar la instauración de síntomas respiratorios compatibles con asma. aplicación de estos resultados está relacionada con la identificación tempranamente de los niños con antecedentes de rinitis alérgica, neumonía, prematuridad y antecedente familiar de asma, con el fin de dar recomendaciones en la eliminación de contaminantes biológicos (hongos y ácaros), y así evitar la instauración de síntomas respiratorios compatibles con asma.

Recomendaciones

A partir de los hallazgos y conclusiones de los estudios presentados se proponen algunas recomendaciones generales para el mejoramiento de las condiciones de calidad del aire y salud respiratoria en la ciudad:

1. Continuar con el monitoreo permanente de la calidad del aire del AMB e integrar sus resultados a la vigilancia en salud pública.
2. Realizar una planeación vial y de infraestructura de la ciudad que permita un recorrido mantenido y fluido de los vehículos y de esta manera evitar tráfico lentos que aumenten las concentraciones de contaminantes, especialmente en zonas residenciales del centro y sur de la ciudad.
3. Promover el uso y la optimización del transporte masivo con el fin de disminuir la cantidad de vehículos (fuentes móviles de contaminación) circulantes en la ciudad.
4. Proponer al nivel nacional la revisión de la norma de límites de calidad del aire que establece como límite promedio diario de PM₁₀ 134 µg/m³ cifra que está muy por encima del nivel umbral encontrado para la presentación de efectos adversos en la salud respiratoria de población susceptible. La recomendación de la Organización Mundial de la Salud establece actualmente un límite máximo de 50 µg/m³, que está más acorde con la protección de la salud de las poblaciones, de acuerdo con los resultados aquí presentados.
5. Diseñar y evaluar intervenciones preventivas en la eliminación de contaminantes biológicos en el hogar, en especial en niños con antecedentes de enfermedades respiratorias infecciosas y alérgicas.
6. Fortalecer la línea de investigación en salud y ambiente desarrollada con el fin de avanzar en la caracterización de otras alteraciones de la salud relacionadas con condiciones del ambiente físico que puedan llevar a adoptar medidas preventivas o correctivas para mejorar las condiciones de salud de la población del AMB.

Agradecimientos

Las instituciones y el grupo de trabajo expresan su especial gratitud a las personas y familias de los barrios que participaron en los estudios realizados entre 2006 y 2010 por su aporte desinteresado a estos trabajos de tipo investigativo. Asimismo agradecen a la Dirección de Tránsito de Bucaramanga por su apoyo continuo a la Red de Monitoreo de Calidad del Aire para el desarrollo de las mediciones ambientales desde el año 2006.



Referencias

- ¹ Elsom D. La contaminación atmosférica. Madrid: Cátedra, 1990.
- ² Organización Mundial de la Salud. WHO air quality guidelines. Geneva: 2005.
- ³ Bernstein JA, Alexis N., Barnes C, Bernstein IL, Bernstein J, Nel A, et al. Health effects of air pollution. *J Allergy Clin Immunol* 2004;114:1116-23.
- ⁴ Delfino R. Epidemiologic Evidence for Asthma and Exposure to Air Toxics: Linkages between Occupational, Indoor, and Community Air Pollution Research. *Environ Health Perspect*. 2002;110:573-589.
- ⁵ Chen Y., Craig I., Krewski D. Air quality risk assessment and Management. *J. Toxicol Environ Health A* 2008;71:24-39.
- ⁶ Riedl M. The effect of air pollution on asthma and allergy. *Curr Allergy Asthma Rep* 2008;8:139-46.
- ⁷ Liu Y, Lee K, Pérez-Padilla R, Hudson N, Mannino DM. Outdoor and Indoor air pollution and COPD – related diseases in high and low income countries. *Int. J. Tuberc Lung Dis* 2008;12:115-27.
- ⁸ Viegi G, Maio S, Pistelli F, Baldacci S, Carrozzi L. Epidemiology of chronic obstructive pulmonary disease: health effects of air pollution. *Respirology*. 2006;11:523-32.
- ⁹ Gauderman WJ, Avol E, Gilliland F y cols. The effect of air pollution on lung development from 10 to 18 years of age. *N Engl J Med*. 2004; 351: 1057-67.
- ¹⁰ Chen Y, Craig L, Krewski D. Air quality risk assessment and management. *J Toxicol Environ Health A* 2008;71(1):24-39
- ¹¹ Sacks JD, Stanek LW, Luben TJ, Johns DO, Buckley BJ, Brown JS, et al. Particulate matter-induced health effects: who is susceptible? *Environ Health Perspect* 2011;119(4):446-54.
- ¹² Bernstein JA, Alexis N, Barnes C, Bernstein IL, Nel A, Peden D, et al. Health effects of air pollution. *J Allergy Clin Immunol* 2004;114(5):1116-23.
- ¹³ Dennis R, Caraballo L, García E, Caballera A, Aristizábal G, Córdoba H, et al. Asthma and other allergic conditions in Colombia: a study in 6 cities. *Ann Allergy Asthma Immunol* 2004;93:568-74.
- ¹⁴ Rodríguez LA, Herrera AB, Ortiz H, Niederbacher J, Vera LM. Incidencia de síntomas respiratorios y su asociación con contaminación atmosférica en preescolares: un análisis multinivel. *Cad Saude Publica* 2010;26(7):1411-8.
- ¹⁵ Hormiga CM, Rodríguez LA. Perfil de Morbilidad y mortalidad en Santander. *Revista del Observatorio de Salud Pública de Santander* 2009;(2):4-30
- ¹⁶ Asher M, Keil U, Anderson H, Beasley R, Crane J, Martínez F, et al. International study of asthma and allergies in childhood (ISAAC): rationale and methods. *Eur Respir J* 1995;8:483-91
- ¹⁷ Mata CF, Fernández M., Pérez M., Guillén F. Validation of the Spanish version of the phase III ISAAC questionnaire on asthma. *J invest Allergol Clin Immunol* 2005;15(3):201-210.
- ¹⁸ República de Colombia, Ministerio de Salud. Resolución No. 008430 de 1993 por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud. Santafé de Bogotá, 1993
- ¹⁹ Rodríguez L., Rey J, Herrera A., Castro H., Niederbacher J, Vera L y cols. Prevalencia de síntomas respiratorios indicativos de asma y su asociación con contaminación atmosférica en preescolares de Bucaramanga, Colombia. *Biomédica* 2010;30(1):15-22
- ²⁰ Informe final del convenio de especial de cooperación científica y tecnológica No. 033 de 2009 celebrado entre el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, la Fundación Oftalmológica de Santander, la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga y la Secretaría de Salud y Ambiente de Bucaramanga. Bucaramanga, agosto de 2010.
- ²¹ Behrentz et al. Definición de elementos técnicos para la formulación de políticas distritales encaminadas al mejoramiento de la calidad del aire en Bogotá. Parte C- Caracterización de material particulado y modelos receptores. Universidad de los Andes, 2008, Pág. 2-8
- ²² Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo Territorial. Resolución 601 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. Bogotá, 2006.
- ²³ Rodríguez LA, Ortiz H, Rey JJ. Air pollution effects on respiratory health in susceptible population: a multilevel study in Bucaramanga, Colombia. Poster presentado en el XIX Congreso Mundial de Epidemiología, Edinburgo, Escocia, 2011. Artículo sometido a publicación en la revista *Cadernos de Saude Pública*, en proceso editorial.
- ²⁴ Herrera AB, Rodríguez LA, Niederbacher J.. Contaminación biológica intradomiciliaria y su relación con síntomas respiratorios indicativos de asma bronquial en preescolares de Bucaramanga, Colombia. *Biomédica* 2011;31(3). Disponible como publicación anticipada en sitio web: <http://revistabiomedica.org/index.php/biomedica/issue/view/21>