

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y SUS EFECTOS EN LA SALUD EN BUCARAMANGA

Laura Andrea Rodríguez Villamizar, UIS-OSPS
Henry Castro Ortiz, CDMB
Juan José Rey Serrano, OSPS
Astrid Berena Herrera López, estud UIS
Jurg Niederbacher Velázquez, UIS

Introducción

En los últimos años, el evidente aumento de la contaminación atmosférica ha generado preocupación por sus potenciales efectos sobre la salud humana. En este sentido se ha generado también gran cantidad de investigaciones alrededor de este tema y aunque la contaminación del aire puede afectar diferentes sistemas y órganos, los estudios se han centrado en la morbimortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, tal vez por ser las más frecuentes y de afectación directa aguda y crónica.

En el ámbito nacional el estudio de la calidad del aire en relación con la salud se ha generado en las ciudades de Bogotá y Cali, principalmente. Recientemente 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).

En este artículo se presenta un resumen del avance de los estudios realizados hasta el momento en la ciudad de Bucaramanga en el tema de calidad del aire y salud.

Primera fase 2006-2008: Estudio del efecto de la contaminación atmosférica en la salud respiratoria de preescolares¹

Este estudio partió de la observación, corroborada por un estudio previo, de que en Bucaramanga las enfermedades respiratorias y específicamente el asma, tienen una prevalencia alta comparada con la de otras ciudades de Colombia² y que a su vez éstas enfermedades son una de las primeras causas de atención en la población pediátrica en del departamento³. 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.

El objetivo del estudio fue determinar la asociación entre la contaminación atmosférica externa y el desarrollo de síntomas respiratorios en preescolares (menores de siete años) de Bucaramanga, Colombia. Con esta finalidad se realizó un estudio de cohorte prospectiva que evaluó la aparición (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

diarias (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, Concordia y Ricaurte.

La medición de la aparición de síntomas (tos seca, tos con flemas, estornudo, asfixia, sibilancias, estornudo, uso de inhalador y necesidad de consulta médica/hospitalización por síntomas respiratorios), se realizó mediante el uso de un calendario diario que era diligenciado por padres o cuidadores. Al inicio del estudio se reclutaron 768 niños y niñas en los que se determinó una prevalencia de diagnóstico de asma de 8,4% y de sibilancias durante el último año de 13,9%⁴ de acuerdo con el cuestionario ISAAC en su versión validada al español⁵. De éstos preescolares, 707 continuaron con el seguimiento diario de síntomas.

El estornudo y la tos con flemas fueron los síntomas más frecuentes con tasas de incidencia de 277,2 y 203,3 eventos por 100 niños-mes en riesgo. En la zona de mayor contaminación, un incremento 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, la presencia de animales domésticos y de suelos de tierra, eran las variables que tenían mayor efecto sobre la ocurrencia de síntomas en esta población de preescolares.

Como conclusión de este estudio encontramos que en preescolares al parecer no existe un efecto contundente de la contaminación 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. 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 cinco componentes

Como respuesta a los interrogantes e hipótesis generados por el estudio de la primera fase se avanzó en una segunda fase del estudio mucho más amplia tanto en el componente del estudio de los contaminantes como de los efectos respiratorios en diferentes poblaciones y ambientes. 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 (componentes 1 y 5) 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 cinco componentes que conformaron esta fase:

Componente 1: Monitoreo de fuentes fijas y móviles⁶

El objetivo de este componente fue analizar de la dinámica de fuentes fijas y móviles de contaminación atmosférica alrededor de las estaciones de monitoreo ambiental.

Para su desarrollo se hizo un monitoreo diario de fuentes móviles entre 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) en número de unidades por separado contadas en intervalos de 15 minutos, que de acuerdo al tipo de combustible fósil utilizado generan en diferentes proporciones determinados contaminantes criterio de interés local, y se definieron los sentidos de la observación de acuerdo con la dirección del tránsito vehicular. La duración del monitoreo en total fue de 14 horas diarias por 7 días continuos. El monitoreo 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, CO, NO_x y SO₂: Centro, Carrera 17 con Diagonal 15, La Joya, Molinos Altos, Hospital local del Norte y Cabecera. 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 (establecimientos comerciales o industriales) de contaminación alrededor de cada Estación de Monitoreo Automática de propiedad de la CDMB

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. En el punto Molinos Altos, correspondiendo a Floridablanca, se observó también un promedio horario similar; en estos dos puntos se registraron altas participaciones de móviles tipo motos (en Molinos) y autos (en Cra 17) 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. Los puntos de la Joya y el Hospital Local del Norte fueron los que registraron menores niveles de fuentes móviles con promedio horarios menores a 100 vehículos y en concordancia menores niveles de contaminación según los registros de la CDMB.

De acuerdo con el inventario de fuentes, los vehículos que utilizan combustibles fósiles 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. Estos datos son consistentes con los obtenidos en el modelamiento de fuentes realizados por la técnica de análisis de Receptor – Fuente en el que se muestra que entre el 60% y 70% de las fuentes de contaminación corresponden a las emisiones de vehículos de transporte.

Componente 2: Caracterización de material particulado y modelación de fuentes⁶

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. Para el estudio se tomaron 100 filtros de PM₁₀ de los equipos de alto volumen y se analizaron 50 muestras para Iones-Metales y 50 para Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAHs). 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 Poli-aromáticos (PAH) utilizando Cromatografía de gases con detector selectivo de masas (GC-MS).

Los resultados 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 Ricaurte, se encuentra entre 16% y 50%) y el calcio (exceptuando 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

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, según SPECIATE de la U.S. EPA 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 se espera que los principales aportantes sean los motores de los vehículos y los restaurantes y asaderos.

Para el análisis receptor-fuente se utilizaron los modelos PMF y UNMIX. Los resultados de PMF, revisando 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 todas las fuentes 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. Los resultados concuerdan con lo que esperado en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

Componente 3: Evaluación de la exposición extra e intradomiciliaria⁶

El objetivo fue el análisis de la relación de la concentración de material particulado en exteriores e interiores. El monitoreo extradomiciliario se realizó utilizando las Estaciones Automáticas y manuales que posee la CDMB en siete (7) sitios estratégicos de Bucaramanga y Cañaveral. Adicional a las estaciones de monitoreo, se utilizaron dos (2) 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 "indoor". Para el monitoreo intradomiciliario se realizaron mediciones de PM₁₀ al interior de las viviendas y locales utilizando cinco (5) equipos, tres (3) automáticos y dos (2) 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.

En los resultados se obtuvo que el mejor acuerdo entre niveles de PM₁₀ intra y extradomiciliario se obtuvo en la zona de baja contaminación (La Joya) y el menor acuerdo en la zona media de contaminación (Cabecera y Molinos), lo que quiere decir que las concentraciones de PM₁₀ en exteriores son mejores predictores de

concentraciones intradomiciliarias en zonas de baja concentración.

En la zona centro (alta) y La Joya (baja) la contaminación intradomiciliaria es mayor a la registrada en el exterior, mientras que en Molinos (media) se obtuvo el patrón contrario. Este resultado puede ser explicado por el tipo de actividades microempresariales que se desarrollan en el intradomicilio 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 (en el que por ejemplo el punto de Molinos alcanzó un índice de calidad del aire IBUCA de 8,12) y un decremento (proporcional en las dos mediciones) que coincidió con el inicio de periodo de lluvias (en el ejemplo de Molinos en abril el IBUCA bajó a 5,31).

Componente 4: Estudio del efecto de la contaminación en poblaciones sensibles⁷

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 (todas las edades) con enfermedad crónica de tipo respiratorio o cardiovascular (población sensible). Se seleccionaron tres zonas de la ciudad con diferentes concentraciones de material particulado menor de 10 micras de diámetro aerodinámico (PM10), de acuerdo con medidas históricas de la red de monitoreo de calidad del aire de la CDMB así: Zona de baja contaminación (menor a 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), zona media (entre 40 y 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y zona de alta contaminación (mayora a 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Con estas zonas definidas con diferentes niveles de exposición se realizó un estudio de cohorte prospectiva. Para la selección de los participantes se incluyeron personas con antecedente de enfermedad crónica respiratoria o cardiovascular que residían alrededor de las estaciones de monitoreo de cada zona descritas en el componente uno. Los participantes seleccionados se siguieron por seis meses registrando la aparición de síntomas respiratorios en un calendario de síntomas similar al utilizado en la fase 1 del proyecto en población preescolar. Además de los síntomas se registraron diariamente variables meteorológicas (humedad relativa, precipitación y temperatura) y concentración de PM10.

Se siguieron 756 participantes de un total de 770 reclutados en la evaluación inicial. Los síntomas con mayores tasas de incidencia fueron el estornudo y la tos seca. La tasa de incidencia del total de síntomas fue de 46 por 100 participantes/día con diferencias entre las zonas: 17 en la zona alta, 74 en la zona media y 53 en la zona de baja contaminación. Con excepción del estornudo y el uso de inhaladores, todos los síntomas fueron mayores en la zona de contaminación media. Sin embargo 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 síntomas comparado con la zona de media y baja contaminación, respectivamente. La cercanía a industrias de cemento y el diagnóstico de falla cardiaca congestiva fueron variables también asociadas con la incidencia de síntomas respiratorios en estas poblaciones.

Estos resultados sugieren que en poblaciones sensibles la contaminación externa es un determinante importante de la ocurrencia de síntomas respiratorios, junto con otras variables de tipo personal y de condiciones de la vivienda y que éste efecto negativo se presenta en sitios con concentraciones de PM10 que superan los 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Componente 5: Estudio de contaminantes biológicos intradomiciliarios⁸.

Este componente del estudio fue desarrollado como trabajo de grado de una estudiante de la maestría en epidemiología y contó con el apoyo financiero de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión de la UIS. El objetivo del estudio fue evaluar si la presencia de contaminantes biológicos intra domiciliarios está asociada positivamente con la presencia de síntomas respiratorios compatibles con asma en niños menores de 7 años independiente de la contaminación extradomiciliaria.

Para su desarrollo se utilizó un diseño analítico de corte transversal, en 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 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 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. 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

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%. Para determinar esta prevalencia se aplicó la metodología rash a las escalas ISAAC Y EISL con el fin de obtener una medida unidimensional de la escalara 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: 1.3, IC95% 0.74 - 24), presencia de acremonium sp (RP: 5 IC95% 3,1 – 8) y los antecedentes del niño de neumonía (RP: 3 IC95% 2 – 4,4), de rinitis alérgica (RP: 1,89, IC95% 1,02 – 3,5), prematurez(RP: 2,3, IC95% 1,5 – 3,4) y padres con asma bronquial (RP:1,87 IC95% 1,08 – 3,2).

De estos resultados se concluye que la exposición a contaminantes biológicos intramurales y los antecedentes respiratorios, la prematurez y el antecedente familiar de asma 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 temprana de los niños con antecedentes respiratorios rinitis alérgica, neumonía y prematurez con el fin de dar recomendaciones para la eliminación de contaminantes biológicos, con el fin de evitar la instauración de síntomas respiratorios compatibles con asma.

Referencias

¹ Rodríguez LA, Herrera AB, Castro 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.

² 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.

³ Hormiga C., Rodríguez L. Perfil de Morbilidad y mortalidad en Santander. *Revista del Observatorio de Salud Pública de Santander - Año 4, Numero 2, Abril - Julio de 2009*

⁴ Rodríguez L., Rey J, Herrera A., Castro H., Niederbacher J, Vera L. Síntomas respiratorios compatibles con asma y asociación con contaminación atmosférica en pre escolares. *Biomédica* 2010; 30:15-22

⁵ Fernández M, Benítez-Fernández M, Miranda M, Grima F. Validation of the Spanish version of the Phase III ISAAC questionnaire on asthma. *J Investig Allergol Clin Immunol* 2005; 15:201-10.

⁶ 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.

⁷ Rodríguez LA, Castro H, Rey JJ. Air pollution effects over respiratory health in sick population: a multilevel study in Bucaramanga, Colombia. Artículo sometido a publicación en la revista *Health Affairs*, noviembre de 2010.

⁸ Herrera A. Contaminación biológica intradomiciliaria y su asociación con síntomas respiratorios compatibles con asma en Bucaramanga, Colombia. Trabajo de grado para optar al título de magíster en epidemiología de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, octubre de 2010.