

Tendencias en investigación sobre calidad del aire en Colombia a partir de los resultados del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública (Casap) 2013

JORGE E. PACHÓN¹

RESUMEN

El Congreso Colombiano y Conferencia de Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública (Casap) es el evento más importante en el país en el tema de la contaminación atmosférica, problemática que representa altos costos a la sociedad colombiana, encarnados en episodios de morbilidad y mortalidad. El Casap congrega a los estudiosos e investigadores y a los gestores de políticas públicas en el tema de calidad del aire (y temas conexos) de todo el país, por lo que es una muestra del nivel de investigación que se tiene actualmente en la temática, y una oportunidad para identificar nuevos campos de acción. Se presenta una discusión sobre la investigación en torno a calidad del aire en el país, y se plantean algunos puntos de reflexión con el fin de aportar ideas que permitan avanzar hacia un sistema integral de gestión de calidad del aire que garantice un recurso de adecuadas condiciones para toda la sociedad.

Palabras clave: Congreso Calidad del Aire, salud pública, monitoreo atmosférico, gestión integral.

¹ Ingeniero Químico, Doctor en Ingeniería Ambiental. Profesor Asociado, Facultad de Ingeniería, Universidad de La Salle. Correo electrónico: jpachon@unisalle.edu.co

FECHA DE RECEPCIÓN: 20 DE JULIO DEL 2013 • FECHA DE APROBACIÓN: 4 DE NOVIEMBRE DEL 2013

Cómo citar este artículo: Pachón, J. E. (2013). Tendencias en investigación sobre calidad del aire en Colombia a partir de los resultados del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública (Casap) 2013. *Épsilon* (21), 13-40.

Research Trends Regarding Air Quality in Colombia, Based on the Results of the 4th Colombian Congress and International Conference on Air Quality and Public Health (CASAP, for its Acronym in Spanish), 2013

ABSTRACT

The Colombian Congress and International Conference on Air Quality and Public Health (CASAP) is the most important event in the country in regards to air pollution, a problem that represents high costs to the Colombian society, represented in morbidity and mortality episodes. The CASAP brings together scholars, researchers and public policy managers from around the country, making it a sample of the current level of investigation related to air quality (and related topics) and an opportunity to identify new fields of action. The document presents an assessment of the research on air quality in the country and some themes for consideration, with the aim to provide ideas that allow moving towards a comprehensive system for air quality management that guarantees a resource of adequate conditions for society at large.

Keywords: Air Quality Congress, public health, atmospheric monitoring, comprehensive management.

Tendências em pesquisa sobre qualidade do ar na Colômbia a partir dos resultados do IV Congresso Colombiano e Conferência Internacional de Qualidade do Ar e Saúde Pública (Casap) 2013

RESUMO

O Congresso Colombiano e Conferência Internacional de Qualidade do Ar e Saúde Pública (Casap) é o evento mais importante no país no tema da contaminação atmosférica, problemática que representa altos custos à sociedade colombiana, encarnados em episódios de morbidade e mortalidade. O Casap congrega aos estudiosos e pesquisadores e aos gestores de políticas públicas no tema de qualidade do ar (e temas relacionados) de todo o país, pelo que é uma mostra do nível de pesquisa que se tem atualmente na temática, e uma oportunidade para identificar novos campos de ação. Apresenta-se uma discussão sobre a pesquisa em torno da qualidade do ar no país, e se expõem alguns pontos de reflexão com o fim de contribuir com ideias que permitam avançar até um sistema integral de gestão de qualidade do ar que garantisse um recurso de condições adequadas para toda a sociedade.

Palavras chave: Congresso Qualidade do Ar, saúde pública, monitoramento atmosférico, gestão integral.

Introducción

El Congreso Colombiano y Conferencia de Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública (Casap) es el espacio de encuentro más importante en el país en relación con los temas de contaminación atmosférica y su impacto en la salud humana. En el Casap participan tradicionalmente estudiantes, docentes, investigadores de la gran mayoría de instituciones de educación superior del país, representantes de entidades ambientales y sanitarias del orden nacional y local, consultores, empresa privada y ciudadanos interesados en la temática.

El Casap tuvo su origen en el 2006, cuando un grupo de académicos se reunieron y reflexionaron sobre la falta de un espacio científico en el país donde se pudieran socializar los resultados de las investigaciones que en materia de calidad del aire y salud pública se llevaban a cabo hasta entonces. De esta forma, surge la primera versión del Casap en el 2007, liderada por el Grupo de Calidad del Aire de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, y llevada a cabo en la ciudad de Manizales. La respuesta de la sociedad al evento fue masiva.

Además de las discusiones en cuanto a calidad del aire y salud pública lideradas por conferencistas nacionales e internacionales, el Casap 2007 organizó una mesa de trabajo sobre “Calidad del diésel”, donde se discutió con la presencia de expertos nacionales e internacionales y de representantes del Gobierno, un programa de mejoramiento de este combustible en el país. Los aportes de esta mesa fueron fundamentales en la expedición posterior de la Ley 1205 del 2008 del Congreso de la República, que consignó la obligación de reducir la cantidad de azufre en el diésel destinado al transporte público, con el objetivo de mejorar la calidad de vida. Como resultado de esta normatividad, el país consume actualmente un diésel con un contenido de azufre de 50 ppm en comparación con las 2500 ppm que se suministraban en el 2008.

La segunda versión del Casap se realizó en Cartagena en el 2009, liderada por el Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional (SUR) de la Universidad de los Andes, manteniendo la elección por un evento científico de relevancia internacional. En esta ocasión, además de las sesiones técnicas y plenarios de invitados internacionales, se hizo una amplia discusión en el tema de los biocombustibles y su impacto en calidad del aire y la salud pública.

La tercera versión del Casap tuvo lugar en la ciudad de Medellín en el 2011, liderada por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) y un grupo de universidades de la región. El Casap 2011 centró su interés en la movilidad sostenible, tema que sin lugar a dudas guarda una alta relación con la calidad del aire en centros urbanos. Se discutieron opciones de movilidad no tradicional para ciudades colombianas, e incentivos que podrían existir en su implementación. Actualmente se puede observar una flota creciente de vehículos eléctricos o híbridos en las calles de las principales ciudades colombianas, además de esfuerzos por el uso de medios sostenibles de transporte, como la bicicleta.

La cuarta versión del Casap se llevó a cabo en el 2013, liderada por el Centro Lallista de Investigación y Modelación Ambiental (Clima) de la Universidad de La Salle. El Casap 2013 se desarrolló en Bogotá con un programa académico de aproximadamente 150 trabajos de investigación distribuidos en 7 ejes temáticos alrededor de la gestión de la calidad del aire en el país y en el mundo. El 30 % de los trabajos presentados provinieron de Argentina, Cuba, México, España, Francia, Venezuela, Estados Unidos, Japón e India, lo que hizo de esta cuarta versión, la de mayor presencia internacional. En cuanto a las ponencias nacionales, estas representaron a las principales regiones del país, lo que demuestra el interés que existe en la problemática de la contaminación del aire a lo largo de la geografía nacional.

Este artículo pretende mostrar una discusión sobre la investigación en cuanto a la calidad del aire en el país, a partir de los trabajos presentados en el IV Casap, y ofrece algunos puntos de reflexión con el fin de aportar ideas que permitan avanzar hacia un sistema integral de gestión de calidad del aire que garantice un recurso de adecuadas condiciones para toda la sociedad.

Información general sobre el IV Casap

El IV Casap contó con la asistencia de 460 personas, de las cuales, un 52 % fueron estudiantes y un 48 % profesionales. De los asistentes al evento, 120 fueron ponentes y se presentaron 84 trabajos en la modalidad de presentación oral, y 74 ponencias en la modalidad de *posters*. El perfil más representativo entre los asistentes al evento fue el de vinculados a la academia (estudiantes, docentes o investigadores), seguido de representantes del Gobierno, consultores, empresa privada e independientes (figura 1).

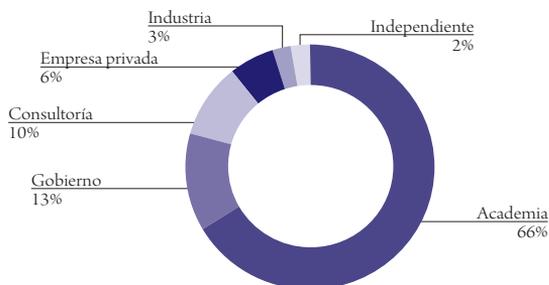


Figura 1. Perfil de los asistentes al IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública ($n = 460$)

Fuente: elaboración propia.

En cuanto al nivel máximo alcanzado de educación, se muestra una distribución homogénea entre estudiantes de pregrado, profesionales y posgraduados con título de maestría. El porcentaje de profesionales con título de doctor fue incluso superior al porcentaje de profesionales especialistas (figura 2). Estos resultados permiten observar el alto nivel académico con que cuentan los profesionales interesados en los temas de calidad del aire y salud pública.

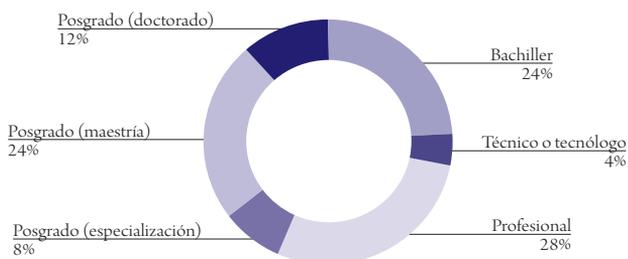


Figura 2. Nivel máximo de educación alcanzado entre los asistentes al IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública ($n = 460$)

Fuente: elaboración propia.

Luego del proceso de evaluación de trabajos por pares expertos se seleccionaron 152 ponencias, siendo los temas de muestreo y análisis de contaminantes atmosféricos y calidad del aire y salud pública los más recurrentes (figura 3). Se observa el interés que existe en el país por la caracterización física y química de los contaminantes del aire y la evaluación de sus efectos en la salud humana. Enseguida se ubicaron los temas de gestión de calidad, políticas públicas y planeación urbana, y temas relacionados con el cambio climático, la eficiencia energética y los biocom-

bustibles. En un menor grado se presentaron trabajos de inventarios de emisiones atmosféricas y de modelación meteorológica y de calidad del aire.

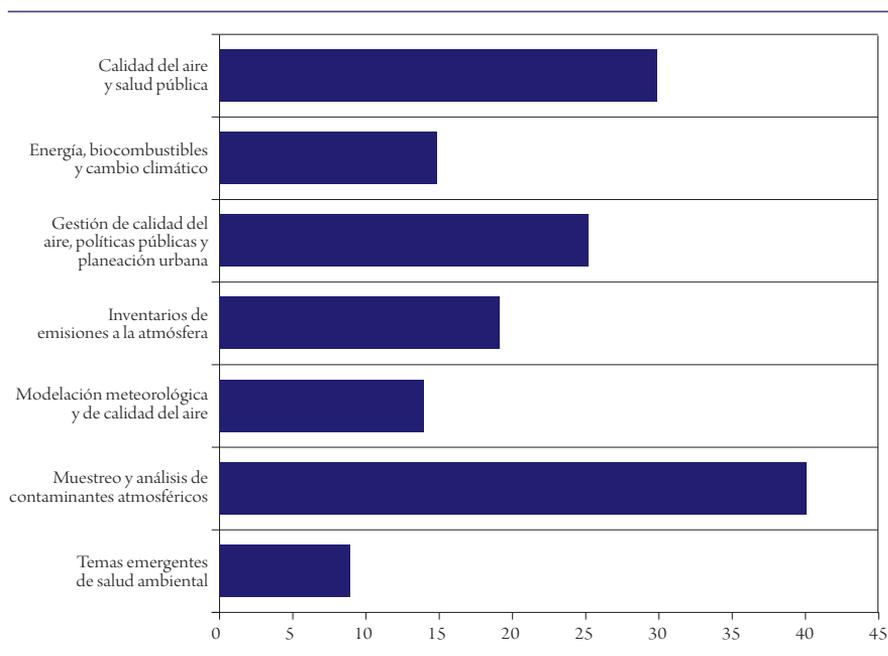


Figura 3. Número de trabajos presentado por temas al IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública ($n = 152$)

Fuente: elaboración propia.

A partir de la afiliación del autor principal de cada trabajo se ubicaron las ciudades en las que se hace una mayor investigación en cuanto a calidad del aire y salud pública. Los resultados muestran que Bogotá congrega el mayor número de trabajos seguido de Medellín, Valledupar, Bucaramanga, Cali y otras ciudades (tabla 1). Es interesante notar que en la mayoría de ciudades colombianas se encuentra algún grupo de profesionales trabajando en los temas de contaminación atmosférica y su impacto en salud. Sobresale en especial la ciudad de Valledupar, un centro urbano intermedio en el país, que lidera trabajos de investigación relacionados con contaminación del aire, dada la influencia de la zona minera del Cesar.

Con respecto a las regiones sobre las cuales se ha centrado la investigación referida a calidad del aire y salud pública, la mayoría de estudios se han enfocado en Bogotá y, en segundo lugar, se encuentran trabajos que tienen aplicación en todo el país. Luego se encuentran trabajos con aplicación en la zona carbonífera del Cesar, en

Cali y el Valle del Cauca, en Medellín y el Valle de Aburrá, y en otras regiones de Antioquia. Un número menor de trabajos tuvieron aplicación en otras regiones del país como Cundinamarca (excluyendo Bogotá), Córdoba, Boyacá, el Caribe, el Eje Cafetero y el sur del país (tabla 2).

Tabla 1. Número de trabajos presentados en calidad del aire y salud pública por ciudad

CIUDAD	NÚMERO DE TRABAJOS
Bogotá	68
Medellín	13
Valledupar	4
Bucaramanga	4
Cali	3
Montería	3
Manizales	2
Neiva	2
Santa Marta	2
Pasto	1
Tunja	1
Internacionales	49
Total	152

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Número de trabajos en ciudades o regiones sobre las cuales se ha centrado la investigación referida a calidad del aire y salud pública en el país

CIUDAD	NÚMERO DE TRABAJOS
Bogotá	45
Todo el país	29
Cesar	7
Cali y Valle del Cauca	6
Medellín y Valle de Aburrá	6
Antioquia	6
Córdoba	3
Boyacá	2
Caribe	2

Continúa

CIUDAD	NÚMERO DE TRABAJOS
Manizales	2
Sucre	2
Pasto	1
Neiva	1
Santander	1
Riohacha	1
Cundinamarca	1
Total	115

Fuente: elaboración propia.

En cuanto al tipo de institución u organización que lidera los trabajos sobre calidad del aire y salud pública en el país, las universidades siguen generando el mayor número de investigaciones, seguidas de instituciones de salud (especialmente hospitales del sector público), empresa privada y autoridades ambientales (figura 4).

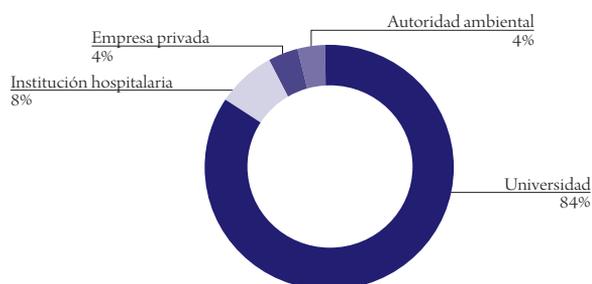


Figura 4. Trabajos presentados al IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública por tipo de institución ($n = 101$)

Fuente: elaboración propia.

Se evaluó también la colaboración entre instituciones (universidades, entidades gubernamentales, empresa privada, instituciones del exterior) en la generación de trabajos para el IV Casap. Se encontró que el 35 % de los manuscritos presentados tenía algún grado de colaboración, especialmente entre dos o más universidades del país, o entre universidades y entidades gubernamentales (tabla 3). Con respecto a esta última relación, sobresalen los trabajos conjuntos entre universidades y hospitales públicos enfocados hacia el estudio del impacto de la contaminación del aire en la salud.

Tabla 3. Trabajos presentados al IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública con colaboración interinstitucional o internacional

COLABORACIÓN ENTRE PARES	NÚMERO DE TRABAJOS
Entre universidades del país y entidades gubernamentales	10
Entre universidades del país	9
Entre universidades del país y del exterior	8
Entre universidades del país y centro de investigación del exterior	4
Entre entidades gubernamentales y empresa privada	3
Entre universidades del país y empresa privada	3
Total	37

Fuente: elaboración propia.

También son notorios los trabajos desarrollados entre universidades del país y universidades o centros de investigación del exterior, fruto de convenios interinstitucionales o trabajos desarrollados durante estancias de posgrado en el exterior. Pocos trabajos se hacen entre la empresa privada y otro tipo de entidades.

Estado de la discusión de la investigación sobre calidad del aire en Colombia

A continuación se presenta una descripción del avance en investigación en los ejes temáticos que fueron discutidos en el IV Casap, como una muestra de la investigación que se realiza actualmente en el país.

Muestreo y análisis de contaminantes atmosféricos

Contaminantes criterio

Los sistemas de vigilancia de la calidad del aire (SVCA), de los cuales el país posee actualmente 14 operados por autoridades ambientales y 5 por organizaciones de carácter privado, se han enfocado tradicionalmente a la medición de contaminantes criterio: material particulado (TSP, PM10, PM2.5), ozono (O₃), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y monóxido de carbono (CO), y parámetros meteorológicos. A partir de los resultados de los SVCA se observa que en el país los contaminantes que generan mayor preocupación son el material

particulado PM10 y el ozono, dado el número de excedencias al año con respecto a la norma nacional. Las principales zonas del país afectadas por concentraciones de PM10 por encima de la norma son Bogotá, Medellín, Bucaramanga, la zona minera del Cesar y la zona industrial de Boyacá (Ideam, 2012), regiones desde las cuales también se ha generado el mayor número de investigaciones sobre el tema (tabla 1).

Carbón elemental o carbón negro

Estudios en el país se han enfocado a determinar la relación entre el carbón negro y el transporte. Se ha estimado la concentración de carbón negro en puntos cercanos a las vías (Pachón *et al.*, 2013b) y a lo largo de ciclorrutas en corredores viales (Franco *et al.*, 2013a) en Bogotá, usando etalómetros y encontrando perfiles de concentración que coinciden con el tráfico de la ciudad. Estos estudios reportan rangos de concentración de carbón negro entre 5-35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ al lado de la vía, en tanto que los corredores viales reportan niveles entre 25-55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cuyos valores superiores se explican por una mayor cercanía a las fuentes.

La reducción de carbón negro u hollín de las fuentes emisoras es hoy en día uno de los mecanismos más promisorios para contrarrestar el efecto del calentamiento global. Se ha demostrado internacionalmente que el carbón negro puede ser reducido de forma muy eficiente mediante la instalación de filtros de partículas en motores diésel, y este tipo de proyectos suele tener impactos positivos para la economía (costo-beneficio hasta 1/30) sin considerar los beneficios para el clima (Mayer, 2013). Tanto en Bogotá como en Medellín, se están realizando en la actualidad pruebas para la implementación de sistemas de control de emisiones (SCE) en la flota diésel que circula por las ciudades (Sáenz *et al.*, 2013; Ramírez *et al.*, 2013). También se ha demostrado en el plano internacional cómo el mejoramiento de la eficiencia de cocción con biomasa en hogares y la tecnificación de hornos ladrilleros artesanales puede contribuir significativamente a reducir emisiones de carbón negro en países como Colombia (Molina, 2013).

Contaminantes peligrosos

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) han sido señalados como sustancias cancerígenas (Marr *et al.*, 2004; Li *et al.*, 2009) producto de la combustión incompleta. Mediante el uso de sensores fotoeléctricos PAS 2000 CE (EcoChem,

2000) se han determinado en tiempo real concentraciones de HAP en fase particulada en Bogotá y Medellín, y se ha encontrado que la concentración de HAP sigue el patrón del tráfico en estas ciudades y tiene una alta correlación con el carbón elemental (Pachón *et al.*, 2013b). Los valores de concentración de HAP en el país son similares a los encontrados en ciudades de otros países tropicales (Hoshiko *et al.*, 2013).

El uso de sistemas de monitoreo pasivo ha proporcionado la concentración de dioxinas, furanos y bi-fenilos policlorados y de compuestos orgánicos volátiles (VOC) en el aire ambiente de Manizales y Medellín (Cortés *et al.*, 2013; Gómez y Yepes, 2013). El primer grupo de compuestos fue asociado con zonas industriales, en tanto que los VOC se identificaron como compuestos que pueden ser potenciales trazadores de fuentes móviles.

Al analizar emisiones por la combustión de mezclas de biodiésel (a partir de soya y cebo de ganado vacuno) se encuentra una reducción importante de contaminantes regulados con respecto al uso del diésel (Mágara, 2013). Sin embargo, estudios sobre toxicidad de mezclas de biodiésel (con aceite de crudo de palma y crudo de *Jatropha*) reportan un posible aumento de citotoxicidad en comparación con el diésel comercial (Orozco *et al.*, 2013). A pesar de que se evaluaron muestras diferentes de biodiésel, la comparación de resultados deja ver la necesidad de una investigación más profunda sobre el tema.

Olores ofensivos

Con el fin de evaluar cuantitativamente olores ofensivos se ha desarrollado para el país una metodología basada en la olfatometría de campo, en la cual un grupo de personas son expuestas a una mezcla de la muestra de olor y aire neutro. Posteriormente se realiza el cálculo de la emisión y la modelación del umbral de olor mediante un modelo de dispersión (Toro *et al.*, 2013).

Modelación meteorológica y de calidad del aire

La ciudad de Medellín es la única ciudad que en Colombia cuenta actualmente con un modelo fotoquímico de calidad del aire (Toro *et al.*, 2012). En Bogotá, grupos de investigación están trabajando en la implementación del modelo brasileño CCATT-Brams (Freitas *et al.*, 2009; Longo *et al.*, 2010 y 2013). El uso masivo de

estos modelos permite la evaluación de las estrategias de control más efectivas para abatir el problema de contaminación del aire (Rincón y Rojas, 2013).

Dado que uno de los mayores impactos a la calidad del aire en centros urbanos está asociado con el transporte, se han desarrollado modelos de microescala para evaluar el impacto al lado de la vía. Se han aplicado modelos de dinámica computacional de fluidos (CFD) para estimar las concentraciones en la vía en Bogotá, y se ha encontrado una buena predicción de las observaciones y un potencial alto de aplicación (Zamudio *et al.*, 2013).

Modelos de dispersión como el AERMOD se han usado en Boyacá para determinar los sectores industriales que más inciden sobre las concentraciones de material particulado, y se ha encontrado que el mayor aporte corresponde a la gran siderurgia y a la industria artesanal de ladrillos (Barreto *et al.*, 2013). Otros modelos de dispersión han sido aplicados en Santa Marta para estimar el aporte del aerosol marino y del polvo resuspendido, de fuentes móviles y material portuario en la calidad del aire. Los valores estimados se encuentran por encima de la normatividad local (Vergara y García, 2013).

Modelos de receptor han sido aplicados en la zona minera del Cesar, observando el impacto del material geológico, las fuentes de combustión y los contaminantes secundarios en la calidad del aire, además del material propio de la explotación (Hernández y Rojas, 2013). La modelación también ha sido utilizada para observar la influencia de las variables meteorológicas en concentraciones de material particulado en la zona minera del Cesar (Morales y Jiménez, 2013), para evaluar la representatividad espacial de las estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Bogotá (Guerrero y Jiménez, 2013), y para estimar la turbiedad atmosférica a partir de datos de radiación solar (Simbaqueba *et al.*, 2013).

Inventarios de emisiones a la atmósfera

Los inventarios de emisiones (IE) a la atmósfera son una herramienta muy importante en la gestión de la calidad del aire, y un insumo fundamental en la implementación de modelos de transporte atmosférico de contaminantes. Las autoridades ambientales en el país reconocen la utilidad de los IE pero no les dan la verdadera importancia que tienen. En la mayoría de los casos, los inventarios son contratados y se deja a decisión de los consultores la metodología para la estimación de

emisiones. Otras carencias que se han detectado en los IE desarrollados en el país son, a saber: la falta de transparencia, la falta de consistencia, la ausencia de una cultura de comparabilidad y el desconocimiento de la incertidumbre asociada con las emisiones (Rojas, 2013).

En Colombia se han aplicado diversas metodologías para la elaboración de IE en las principales ciudades que han dado como resultado valores muy disímiles en las emisiones entre ciudades e incluso dentro de una misma ciudad (Pachón, 2013a). Ciudades intermedias están en la tarea de desarrollar IE como es el caso de Barranquilla (Vélez-Pereira y Vergara, 2013) y la zona de Samacá en Boyacá (Benítez y Ramos, 2013), donde existe un fuerte sector industrial.

Con el fin de mejorar los inventarios de emisiones, se han determinado factores de emisión para material particulado y NO_x en la flota vehicular Euro IV/V que será introducida próximamente en Bogotá (Acevedo *et al.*, 2013). Paralelamente, se han realizado estudios para determinar los ciclos de conducción para la ciudad, insumo fundamental para la correcta estimación de los factores de emisión en los vehículos (Belalcázar *et al.*, 2013).

Gestión de calidad del aire, políticas públicas y planeación urbana

Bogotá y Medellín son los centros urbanos en el país con una mayor problemática de calidad del aire. Para afrontar el problema, los gobiernos locales han establecido planes de descontaminación del aire, con metas y resultados por cumplir en períodos específicos. Entre sus planes, la ciudad de Medellín tiene la creación de zonas de emisiones bajas, la renovación del parque público automotor, la reducción en el número de vehículos privados, la prohibición a la comercialización de motos de 2 tiempos y estándares más exigentes para motos de 4 tiempos (Ramírez *et al.*, 2013). Por su parte, Bogotá contempla como sus estrategias cruciales: la conversión de carbón a gas natural en fuentes fijas, la instalación de sistemas de control de partículas en fuentes fijas y móviles y beneficios ambientales derivados de la implementación del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) (Chaparro y Molano, 2013; Sáenz *et al.*, 2013).

A pesar de la gravedad de la contaminación atmosférica en el país, se reconoce una falta de activismo y movilización social, posiblemente por una precaria educación alrededor del tema. En Bogotá, por ejemplo, la población de las zonas más afectadas

por una inadecuada calidad del aire reconoce la problemática pero no identifica las políticas ni los entes regulatorios en el tema (Franco *et al.*, 2013b). Hay necesidad de regionalizar las políticas de Estado, permitiendo la adaptación de medidas de acuerdo con el medio natural y artificial en que se está inmerso (Costa, 2013).

Meteorología y sensores remotos

Con el fin de desarrollar una tecnología local, se han desarrollado métodos para la cuantificación de la capa de mezcla y la estabilidad atmosférica a partir de sensores de presión y temperatura que pueden ser construidos localmente (Narváez, 2013). Otra de las necesidades es la continua verificación del funcionamiento de sensores, para lo cual se hace la comparación con equipos de referencia (Oviedo y Rojas, 2013).

Dadas las limitaciones de recursos para el monitoreo en la superficie o en sitios remotos, el uso de información satelital para la estimación de concentraciones ambientales tiene un gran potencial de desarrollo. Se han realizado estudios en Colombia y a nivel internacional para realizar inventarios de emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x), a partir de información colectada con el sensor Ozone Monitoring Instrument (OMI) a bordo del satélite Aura de la NASA (Kaynak y Oner, 2013; Baquero y Grajales, 2013). En ambos estudios se ha detectado una posible sobrestimación de los valores satelitales en áreas remotas, y se recomienda una mayor investigación al respecto.

El uso de instrumentos de sensores remotos también se vislumbra de gran potencial en el país. Usando un fotómetro solar de la red Aerosol Robotic Network (Aeronet) de la NASA en Bogotá, se determinó que la ciudad presenta valores de contaminación moderados en comparación con otros centros urbanos y con una fracción significativa de material grueso. También se encontraron valores para la profundidad óptica de aerosol (AOT, por sus siglas en inglés) y el exponente de Angstrom, aunque no se encontró un nivel de correlación significativo entre AOT y el material particulado PM10 (Hernández *et al.*, 2013).

Un campo adicional de investigación es el uso de luces nocturnas para mejorar los IE, bajo la premisa de que las luces reflejadas al espacio en la noche están asociadas fundamentalmente con fuentes móviles (Martins *et al.*, 2013).

Calidad del aire y salud pública

El país ha avanzado considerablemente en la evaluación de los impactos en la salud ocasionados por la contaminación del aire y no en vano, dado los altos costos que significan para la economía nacional. El estudio más reciente del Banco Mundial estima en 5,7 billones de pesos (1,1 % del PIB nacional en el 2009) los costos asociados con 5000 muertes prematuras y 65 millones de años de vida perdidos (DALY, por sus siglas en inglés) por exposición a PM10 y PM2.5, el contaminante que más afecta las ciudades en Colombia (Strukova y Sánchez, 2011). Sin embargo, este estudio parece conservador en cuanto al impacto en la salud. En Bogotá, por ejemplo, se estimó que para el período 2010-2020, se presentaron más de 20.000 muertes prematuras asociadas con PM10 en adultos y 900 muertes en menores a 1 año con un costo de 21 billones de pesos por mortalidad y 180.000 millones por morbilidad (Ortiz y Rojas, 2013).

Estos altos costos en salud están asociados con enfermedades en la población más vulnerable y de menor estrato socioeconómico (Rodríguez *et al.*, 2013), población que se ve en la obligación de convivir con actividades industriales donde se emiten no solo contaminantes tradicionales sino peligrosos. En Bogotá, por ejemplo, en las localidades más industrializadas se ha detectado la concentración de plomo en la sangre 3 veces más alta que en localidades de baja exposición, siendo los niños (menores que 5 años) los más afectados con estas altas concentraciones, con desórdenes neuronales y problemas de aprendizaje (Osorio *et al.*, 2013).

Es cada vez más creciente la realización de estudios de impacto en la salud por actividad minera tanto formal como informal, por lo que se evidencia afectación especialmente en niños por enfermedad respiratoria por exposición a extracción de carbón a cielo abierto (Quiroz *et al.*, 2013).

Es clave considerar en estudios epidemiológicos la vulnerabilidad dependiendo del nivel socioeconómico, y avanzar hacia sistemas de vigilancia epidemiológica de segunda generación en calidad de aire y salud, lo cual incluye la valoración de biomarcadores y la vigilancia de tercera generación que es el uso de la epigenética (Ballester, 2013).

Energía, biocombustibles y cambio climático

La Política Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (PCDBC) ha identificado como sectores económicos prioritarios para la reducción de emisiones: agropecuario, gestión de residuos, transporte y generación de energía. Colombia espera un incremento del 50 % en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para el 2050, por lo que medidas de acción sobre los sectores señalados son de especial importancia (Behrentz *et al.*, 2013). Se han desarrollado modelos dinámicos que permiten estimar las emisiones de CO₂ del transporte urbano a largo plazo, y se ha encontrado, por ejemplo, que la introducción de la flota eléctrica o híbrida por sí sola no necesariamente implicará la reducción en los niveles de material particulado en Bogotá (Guzmán y Orjuela, 2013).

Con respecto al uso de biocombustibles, además de su impacto por la emisión de gases contaminantes, hay que tener en cuenta las emisiones de GEI asociadas con la preparación y uso de los terrenos agrícolas (por el uso de insecticidas, fungicidas, etcétera). Se ha encontrado que, por ejemplo, para el alcohol que se adiciona a la biogasolina, sus emisiones son más altas en la producción de caña de azúcar que en su consumo (Buitrago y Belalcázar, 2013).

Algunas reflexiones sobre el estado de calidad del aire en Colombia

A partir de la revisión anterior sobre el estado de la discusión de la investigación relacionada con calidad del aire en Colombia, se presentan a continuación algunas reflexiones que permitan identificar campos de acción susceptibles de mejoramiento y otras actividades que se puedan emprender en pro de una mejor calidad del aire en las ciudades colombianas. Estas reflexiones son fruto de discusiones del Comité Organizador del Casap, y la interacción con expertos en el tema nacionales e internacionales.

Muestreo y análisis de contaminantes atmosféricos

Sin lugar a dudas, el país ha avanzado significativamente en la medición de contaminantes criterio en el ambiente a partir de la expansión de los SVCA. La información obtenida ha permitido tomar decisiones de política pública con mayor conoci-

miento de la situación de contaminación atmosférica en el país. Sin embargo, es necesario fortalecer los SVCA, pues la cobertura y pertinencia de la información de calidad del aire en el país es aún susceptible de mejoramiento.

Poco se conoce en el país acerca de la composición química del material particulado, información fundamental para identificar los principales emisores del contaminante y sus efectos en la salud. Se requiere la realización de campañas de campo donde se colecte material particulado para su posterior especiación química. Las universidades pueden ser actores importantes en este proceso, y se puede gestionar la ayuda de la comunidad internacional con la aplicación de técnicas analíticas que no estén disponibles en el país.

Es necesario no solo medir los contaminantes tradicionales, sino también sustancias peligrosas, sobre todo en zonas de ubicación de complejos industriales y grandes corredores viales. Para este propósito, los sistemas de monitoreo pasivo se presentan como un mecanismo viable por su bajo costo y facilidad de operación.

La dependencia de tecnología e insumos del exterior limita la capacidad de monitoreo y análisis de contaminantes en el país. El desarrollo de instrumentos de medición y análisis de contaminantes en el aire y de variables meteorológicas con tecnología local es clave para superar esta limitante.

A pesar de la mejora en la calidad del diésel en el país, aún se siguen emitiendo sustancias tóxicas asociadas con su combustión en buses y camiones. En los próximos años, el país debe avanzar hacia combustibles de ultra-bajo contenido de azufre, que permitan la introducción de mejores tecnologías de combustión.

Como se mencionó anteriormente, el carbono negro es el contaminante cuya reducción tiene los mayores beneficios para el cambio climático en la actualidad, a la par de efectos benéficos en la salud. Bogotá y Medellín han contemplado en sus planes de descontaminación del aire la instalación de filtros de partículas en buses y camiones con el fin de reducir las emisiones de carbono negro. Con los resultados de estos proyectos, es posible contemplar la instalación de filtros de este tipo en toda la flota diésel del país, y prestar atención a ciudades intermedias donde son trasladados buses y camiones de modelos antiguos que no circulan por las grandes ciudades y son muy contaminantes.

El país no posee un inventario nacional de carbono negro con el cual pueda presentarse ante la comunidad internacional a diferentes iniciativas asociadas con su reducción. El Ministerio del Ambiente, con el apoyo de la academia, puede promover la realización de un inventario nacional donde se incluyan actividades prioritarias como cocción con carbón y biomasa, fabricación de ladrillo y transporte. Los resultados de este inventario pueden apoyar la realización de proyectos para el mejoramiento de la eficiencia de cocción con biomasa en hogares y la tecnificación de hornos ladrilleros artesanales, actividades generadoras de carbón negro y que están distribuidas por todo el país.

Modelación meteorológica y de calidad del aire

La modelación es una herramienta fundamental en la gestión de calidad del aire por cuanto permite evaluar diversas estrategias de reducción de emisiones. Sin embargo, los ejercicios de modelación de calidad del aire son escasos en el país, y están liderados en su mayoría por las universidades sin una participación directa de las autoridades ambientales. Es recomendable promover desde la administración, la modelación de la calidad del aire con el fin de evaluar políticas públicas destinadas al mejoramiento del recurso.

Dentro de la gama de posibles modelos por aplicar en una zona determinada, llaman la atención por su utilidad en la identificación de las fuentes de emisión y simplicidad en su ejecución, los modelos de receptor. En la medida en que se cuente con información sobre la composición química del material particulado, se podrán aplicar este tipo de modelos con el fin de estimar los principales emisores de material particulado.

Inventarios de emisiones a la atmósfera

Son varias las actividades por implementar para el fortalecimiento de los IE en el país. Se sugiere aumentar la transparencia en la estimación de las emisiones, hacer un constante chequeo de los inventarios aplicando una o dos metodologías de aproximación, evitar los errores en el diligenciamiento de formularios y de reportes de emisiones, comparar los inventarios con periodicidad, incluir la totalidad de la jurisdicción como dominio en la estimación y reportar algún tipo de incertidumbre asociada con la estimación de los datos (Rojas, 2013).

Se debe promover un protocolo nacional para la realización de inventarios de emisiones que unifique metodologías e información, y permita comparabilidad dentro de la región y entre regiones. Para este propósito, es necesario mejorar la calidad de los factores de emisión caracterizando los perfiles de las fuentes, actividad que pueden apoyar las universidades en las diferentes zonas del país.

Gestión de calidad del aire, políticas públicas y planeación urbana

Son pocas las experiencias en el país donde se observa una gestión integral de la calidad del aire que incluya la elaboración de IE, la medición continua de contaminantes, los ejercicios de modelación, la estimación de impactos en la salud humana, la formulación y evaluación permanente de planes de acción y control y donde se involucren los diferentes actores pertinentes. El país está en mora de avanzar hacia la formulación de planes de gestión integral de calidad del aire, en forma similar a como se formularon en su época los planes de gestión integral de residuos sólidos y que fueron de obligatorio cumplimiento.

Un plan de gestión integral de la calidad del aire puede permitir que ciudades intermedias, de rápido crecimiento económico, no se vean abocadas a enfrentar problemas de contaminación atmosférica y a formular los planes de descontaminación que demandan altos recursos y largos períodos para observar los resultados.

En general, las autoridades ambientales y de salud del país trabajan el tema de calidad del aire de forma independiente, a sabiendas de que los principales impactos de la contaminación atmosférica están en el deterioro de la salud pública, y que las mejoras en salud dependen de que se implementen exitosamente acciones de control en los generadores de emisiones. Se recomienda mayor articulación entre autoridades ambientales y del sector salud, y la inclusión también de autoridades del sector de transportes, minero-energético y de ordenamiento territorial.

El activismo y la movilización social son definitivos para la concientización del problema y la demanda al Gobierno por medidas que contribuyan al mejoramiento de la calidad del aire. Las investigaciones realizadas en universidades y centros de investigación pueden ayudar a sensibilizar a la población sobre los efectos de la contaminación del aire; en esta tarea una relación más cercana con los medios de comunicación es clave.

Meteorología y sensores remotos

Para subsanar la falta de observaciones en superficie de contaminantes atmosféricos, se pueden aprovechar las mediciones satelitales disponibles globalmente y sin ningún costo. Es claro que aún falta investigación sobre cómo traducir las mediciones de una columna satelital a una concentración en superficie, igualmente aspectos como las concentraciones entre la capa límite y la superficie cuya solución requiere de un mayor número de mediciones, pero aun así es un campo potencial de exploración. Los IE también pueden ser mejorados a partir de información satelital que puede ser alimentada con modelos regionales de calidad del aire (Ganzeveld, 2013).

Calidad del aire y salud pública

La evaluación de los efectos de la calidad del aire en la salud se ha limitado en el país a enfermedades respiratorias, pero en el escenario mundial también se ha demostrado la afectación cardio-vascular. Es importante involucrar o incentivar aún más la participación de organizaciones científicas de investigación o asistenciales en temas de neumología y salud cardiovascular.

Los hospitales públicos en conjunto, universidades y centros de investigación han realizado estudios sobre el impacto de la contaminación atmosférica en la población, especialmente la más expuesta a altos niveles de contaminantes y en condiciones socioeconómicas desfavorables. Es recomendable involucrar más actores del campo de la salud como la red público-privada y a las aseguradoras con potencial interés por la disminución de impactos en la salud.

Es necesario conciliar las diferentes metodologías de valoración de costos asociados con la contaminación del aire en el país, con el fin de tener una cifra más aproximada y valorar en mejor medida los planes de acción y control. Igualmente, es necesario que se realicen y cumplan los planes de mejoramiento de calidad de aire en el país, lo cual contribuye a disminuir la morbimortalidad respiratoria y cardiovascular. Se requieren sistemas de monitoreo crítico continuo que generen evidencia de la afectación de la calidad del aire y la salud con el objetivo de generar alarmas y hacer intervenciones de prevención, contención y mitigación en la salud pública (Hernández, 2013).

Energía, biocombustibles y cambio climático

La política de calidad de aire en el país debe articularse con otras políticas que pueden tener un peso mayor en la agenda administrativa, como la política de eficiencia energética o de adaptación al cambio climático, y de esta manera aprovechar los cobeneficios que en términos de calidad del aire se puedan generar a partir de estas (Costa, 2013).

Se necesita de una investigación más profunda en el tema de los biocombustibles pues mientras algunos estudios señalan beneficios ambientales reflejados en menores emisiones de contaminantes a la atmósfera, otros estudios reportan una mayor toxicidad de dichas emisiones.

Conclusiones

Colombia enfrenta grandes problemáticas de contaminación atmosférica que le cuestan al país cerca del 1,1 % del PIB nacional, según el último informe del Banco Mundial; esta cifra puede ser conservadora frente a otros estudios locales. El país ha avanzado en los últimos años en el diagnóstico de la problemática con el fortalecimiento y expansión de sistemas de vigilancia de calidad del aire y la expedición de legislación para el control de emisiones y estándares de inmisión. Paralelamente, la respuesta de la sociedad ha sido significativa, especialmente en la academia, donde se han liderado investigaciones en temáticas relacionadas con la contaminación del aire por profesionales altamente calificados. Se puede observar que en casi todas las regiones del país, existen actualmente grupos dedicados a esta tarea, y donde se está formando una masa crítica que permita una mayor sensibilización de la sociedad frente a la problemática vigente.

En una época en que la economía del país sigue en continuo crecimiento y ante la perspectiva del incremento de actividades productivas que impactan el medio ambiente, y la atmósfera en particular, se vuelve imperativo contar con planes de gestión integral de la calidad del aire donde no solo se consideren las actividades necesarias para su funcionamiento, sino donde se articulen los diversos actores que tienen incumbencia en su desarrollo. Estos planes permitirán que ciudades intermedias no avancen hacia estados de contaminación atmosférica por encima

de los estándares, y que los centros urbanos que más se ven afectados puedan recuperar una calidad del aire adecuada para sus habitantes.

El Casap se ha posicionado como el evento más importante en el tema de calidad del aire y su impacto en la salud pública en el país, y sus discusiones han servido a tomadores de decisiones para generar políticas destinadas al mejoramiento del recurso. Es un esfuerzo liderado por la academia que debe mantenerse en el tiempo, y debe concretarse en la consolidación de una red de trabajo que participe con fundamento científico en discusiones sobre las problemáticas de contaminación atmosférica que aquejan al país.

Referencias

- Acevedo, H., Rojas, N. y Belalcázar, L. (2013). Emisiones de óxidos de nitrógeno en vehículos diésel Euro VI/V de la ciudad de Bogotá. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 12-19). Bogotá: Casap.
- Ballester, F. (2013). *The INMA Project: A Multi-Center Birth Cohort in Spain on Environment and Childhood Health*. Ponencia presentada en el IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública, Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://www.CASAP2013.com/memorias>.
- Baquero, B. y Grajales, F. (2013). Concentraciones en superficie de dióxido de nitrógeno en Colombia a partir de columnas troposféricas OMI. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 43-54). Bogotá: Casap.
- Barreto, L., Uribe, L. y Suarez, N. (2013). Evaluación de la calidad del aire del Valle de So-gamoso, respecto a PM10 aplicando el modelo AERMOD como herramienta de planificación. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 71-75). Bogotá: Casap.
- Behrentz, E., Cadena, A., Mutis, H., Pérez, J., Rosales, R. y Espinosa, M. (2013). Estimación de curvas de abatimiento para Colombia: sectores agropecuario, energía, transportes y residuos. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 86-96). Bogotá: Casap.
- Belalcázar, L., Acevedo, H., Osses, M. y Rojas, N. (2013). Construcción de los ciclos de conducción de Bogotá para la estimación de factores de emisión vehiculares y consumos de combustible. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Co-*

- lombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 97-102). Bogotá: Casap.
- Benítez, D. y Ramos, A. (2013). Samaca, área fuente de contaminación atmosférica. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 112-118). Bogotá: Casap.
- Buitrago, R. y Belalcázar, L. (2013). Análisis del ciclo de vida para la producción de bioetanol en Colombia por medio de OpenLCA. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 127-132). Bogotá: Casap.
- Chaparro, R. y Molano, F. (2013). Implementación del plan decenal de descontaminación del aire para Bogotá. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 205-212). Bogotá: Casap.
- Cortes, J., Álvarez, J., Salguero, Y. y Aristizábal, B. (2013). Captadores de aire pasivo para la determinación de Compuestos Orgánicos Persistentes en Manizales. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 233-241). Bogotá: Casap.
- Costa, C. (2013). *Reflexión sobre la gestión de calidad del aire en el país*. Ponencia presentada en el el IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública, Bogotá, Colombia.
- EcoChem. (2000). *Photoelectric Aerosol Sensor PAS 2000CE User´s Guide*. League City: EcoChem.
- Franco, J., Segura, J., Soto, W. y Parra, J. (2013a). Exposición a PM_{2.5} y carbono elemental en ciclorutas de Bogotá: impacto del tráfico vehicular. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 343-349). Bogotá: Casap.
- Franco, J., Ariza, L. y Sánchez, M. (2013b). Percepción ciudadana sobre el impacto de la contaminación atmosférica en salud y calidad de vida. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 337-342). Bogotá: Casap.
- Freitas, S. *et al.* (2009). The Coupled Aerosol and Tracer Transport Model to the Brazilian Developments on the Regional Atmospheric 3D Modeling System (CAIT-Brams)- Part 1: Model Description and Evaluation. *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 2843-2861.
- Ganzeveld, L. (2013). *Land-Atmosphere Interactions and Land use Changes in Atmospheric Chemistry-Climate Interactions*. Ponencia presentada en el IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública, Bogotá, Colombia. Recuperado de www.CASAP2013.com/memorias.

- Gómez, M. y Yepes, D. (2013). Evaluación de compuestos orgánicos como trazadores de emisiones vehiculares en el Valle de Aburrá. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 432-441). Bogotá: Casap.
- Guerrero, O. y Jiménez, R. (2013). Representatividad espacial de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 452-458). Bogotá: Casap.
- Guzmán, L. y Orjuela, J. (2013). Usos del suelo, transporte y emisiones: un modelo integrado para la estimación de emisiones de contaminantes y gases de efecto invernadero en Bogotá. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 465-475). Bogotá: Casap.
- Hernández, A. y Rojas, N. (2013). Caracterización química del material particulado presente en el aire ambiente de la zona carbonífera del Cesar. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 495-504). Bogotá: Casap.
- Hernández, L., Jiménez, R., Torres, O. y Holben, B. (2013). Caracterización del material particulado sobre Bogotá mediante fotometría solar. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 504-515). Bogotá: Casap.
- Hernández, L. (2013). *Reflexión sobre calidad del aire e impacto en salud pública*. Ponencia presentada en el IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública, Bogotá, Colombia.
- Hoshiko, T. et al. (2013). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Levels and Temporal Variations in Tropical Countries: Colombia, Thailand and Bangladesh. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 343-349). Bogotá: Casap.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). (2012). Estado de calidad del aire en Colombia 2007-2010. Bogotá.
- Kaynak, B. y Oner, E. (2013). Evaluation of NO_x Emission Inventories for Turkey using OMI NO₂ Retrievals. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 542-551). Bogotá: Casap.
- Li, Z. et al. (2009). Characterization of PM_{2.5}-Bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Atlanta. *Atmospheric Environment*, 43, 1043-1050. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VH3-4V0MV6F-2/2/2daf780a06263ed038dfb08d25b07db5>.

- Longo, K. *et al.* (2013). The Chemistry CATT-Brams Model (CCATT-Brams 4.5): A Regional Atmospheric Model System for Integrated Air Quality and Weather Forecasting and Research. *Geosci. Model Dev. Discuss.*, 6, 1173-1222.
- Longo, K., Freitas, S., Andreae, M., Setzer, A., Prins, E. y Artaxo, P. (2010). The Coupled Aerosol and Tracer Transport Model to the Brazilian Developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-Brams)-Part 2: Model Sensitivity to the Biomass Burning Inventories. *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 5785-5795.
- Márgara, K. (2013). *Sensitivity of Hazardous Air Pollutant Emissions to the Combustion of Blends of Petroleum Diesel and Biodiesel Fuel*. Ponencia presentada en el IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública, Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://www.CASAP2013.com/proceedings>.
- Marr L. *et al.* (2004). Vehicle Traffic as a Source of Particulate Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Exposure in the Mexico City Metropolitan Area. *Environmental Science & Technology*, 38, 2584-2592.
- Martins, J. *et al.* (2013). The Application of Land use and Night Time Lights on the Development of High-Resolution Emission Inventories for South America. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 619-624). Bogotá: Casap.
- Mayer, A. (2013). *Eliminar las nano-partículas de los motores de combustión: la única solución para limpiar el aire en las megaciudades*. Ponencia presentada en el IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública, Bogotá, Colombia.
- Mendoza, L., Orozco, L., Zapata, L. y Palacio, J. (2013). Genotoxicidad sobre linfocitos humanos expuestos a PM10 de tres sitios del Valle de Aburrá (Antioquia). En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 664-673). Bogotá: Casap.
- Molina, L. (2013). Urban Air Pollutant Emissions and Impacts. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 691-697). Bogotá: Casap.
- Morales, L. y Jiménez, R. (2013). Material particulado en la zona carbonífera del Cesar: variabilidad espacio-temporal y rol de la meteorología. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 720-727). Bogotá: Casap.
- Narváez, J. (2013). Método práctico para la cuantificación de la capa de mezcla y la estabilidad atmosférica. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 739-751). Bogotá: Casap.

- Orozco, L., Molina, F., Palacio, J. y Agudelo, J. (2013). Actividad genotóxica de linfocitos humanos de tres combustibles por medio del ensayo cometa alcalino. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 765-772). Bogotá: Casap.
- Ortiz, E. y Rojas, N. (2013). Estimación de los beneficios económicos en salud asociados a la reducción de PM10 en Bogotá. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 778-791). Bogotá: Casap.
- Osorio, G. et al. (2013). Prevalencia de mercurio y plomo en población general de Bogotá 2012/2013. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 797-805). Bogotá: Casap.
- Oviedo, B. y Rojas, N. (2013). Método aplicado para la evaluación de series de datos meteorológicos para estaciones automáticas. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 806-815). Bogotá: Casap.
- Pachón, J. (2013a). Revisión de metodologías usadas para la estimación de inventarios emisiones atmosféricas en Colombia. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 816-829). Bogotá: Casap.
- Pachón, J., Sarmiento, H. y Hoshiko, T. (2013b). Health Risk by Inhalation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons During Daily Commutes in Bogotá. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 837-846). Bogotá: Casap.
- Quiroz, L., Hernández, L., Agudelo, C., Medina, C. y Robledo, R. (2013). Prevalencia de ERA en la población menor de 10 años residente en 5 municipios de la zona carbonífera del Cesar, Colombia. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 890-903). Bogotá: Casap.
- Ramírez, G., Gil, L. y Zapata, A. (2013). Seguimiento al Plan de Descontaminación del aire en el Valle de Aburrá. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 904-911). Bogotá: Casap.
- Rincón, A. y Rojas, N. (2013). Aplicación exploratoria del sistema de modelación CCATT-Brams para la región metropolitana de Bogotá: representación preliminar de meteorología y transporte. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 962-980). Bogotá: Casap.

- Rodríguez, N., Martínez, V., Sarmiento, R., Medina, K. y Hernández, L. (2013). Posibles factores de riesgo para enfermedad respiratoria en la población infantil entre 5 y 14 años de la Localidad de Bosa en Bogotá. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 1000-1013). Bogotá: Casap.
- Rojas, N. (2013). *Reflexión sobre inventarios de emisiones*. Ponencia presentada en el IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública, Bogotá, Colombia.
- Sáenz, H., Molano, F., Acevedo, H., Rojas, N., Molina, I. y Pulido, J. (2013). Programa de retrofit para Bogotá. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 1037-1044). Bogotá: Casap.
- Simbaqueva, O., Rodríguez, L., Sánchez, L. y Suárez, H. (2013). Turbiedad atmosférica como elemento del programa de vigilancia atmosférica global en Bogotá. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 1071-1077). Bogotá: Casap.
- Strukova, E. y Sánchez, G. (2011). *Environmental Health in Colombia: An Economic Assessment of Health Effects*. Washington DC.
- Toro, M., Álvarez, N. y Sánchez, C. (2012). Meteorological and Chemical Prediction using RAMs and CAMx Numerical Models. Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
- Toro, M., Ospina, F., Giraldo, L. y Pérez, S. (2013). Aplicación de la olfatometría dinámica para la medición de olores ofensivos. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 1088-1094). Bogotá: Casap.
- Velandia, E. (2013). Oportunidades para el uso de taxis eléctricos en Bogotá. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 1168-1175). Bogotá: Casap.
- Vélez-Pereira, A. y Vergara, E. (2013). Caracterización de emisiones atmosféricas por fuentes fijas industriales del Distrito de Barranquilla, Colombia. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 1176-1187). Bogotá: Casap.
- Vergara, E. y García, F. (2013). Simulación de la dispersión del material particulado proveniente de actividades portuarias en Santa Marta. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 1184-1192). Bogotá: Casap.
- Zamudio, A., Belalcázar, L. y Rojas, N. (2013). Evaluación de dos modelos de dinámica computacional de fluidos (CFD) para simular la dispersión de contaminantes a

nivel de calle en Bogotá. En J. Pachón (Comp.). *Memorias del IV Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública* (pp. 1207-1212). Bogotá: Casap.