

Revista de Ingeniería

ISSN: 0121-4993

reingeri@uniandes.edu.co

Universidad de Los Andes

Colombia

Gaitán, Mauricio; Cancino, Juliana; Behrentz, Eduardo  
Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá  
Revista de Ingeniería, núm. 26, noviembre, 2007, pp. 81-92  
Universidad de Los Andes  
Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=121015050011>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

# Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá

## Analysis of Bogota's Air Quality

Recibido 15 de septiembre de 2007, aprobado 1 de octubre de 2007

81  
doss

### **Mauricio Gaitán**

Estudiante de maestría. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Asistente de investigación del Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA), Universidad de los Andes, Bogotá D.C., Colombia.

### **Juliana Cancino**

Ingeniera Ambiental. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes, Bogotá D.C., Colombia.

### **Eduardo Behrentz**

Ph.D. Director del Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Coordinador de Posgrado del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes, Bogotá D.C., Colombia.  
ebehrent@uniandes.edu.co 

#### **PALABRAS CLAVES**

Redes de monitoreo, información en tiempo real, diagnóstico, contaminación atmosférica.

#### **KEY WORDS**

Air quality networks, real-time information, diagnosis, air pollution.

#### **RESUMEN**

Durante la presente investigación se realizó un análisis de los registros contenidos en la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Bogotá. Se construyó una base de datos que fue organizada y estructurada para facilitar la validación y el análisis de la información, la cual fue utilizada para evaluar de forma cuantitativa el estado de la calidad del aire de la ciudad. Los resultados sugieren que para contaminantes como óxidos de azufre y de nitrógeno, así como para monóxido de carbono, Bogotá no presenta en la actualidad un problema significativo de contaminación del aire. Al mismo tiempo, sin embargo, las concentraciones atmosféricas de material particulado en la ciudad tienden a encontrarse muy por encima de los niveles sugeridos por las normas de calidad del aire.

#### **ABSTRACT**

During this research project we conducted an analysis of the information registered by Bogotá's air quality monitoring network. We built a database that was designed to facilitate the processes of validating and analyzing the air quality data, which were used to quantify the city's air pollution problem. Our results suggest that air pollutants such as carbon monoxide and sulfur and nitrogen oxides do not represent a major air pollution problem. At the same time, however, the particulate matter ambient air concentrations in Bogotá tend to be much higher than the levels suggested by the local air quality standards.

## INTRODUCCIÓN

El notable deterioro de la calidad del aire en Bogotá (y su directa relación con problemas de salud respiratoria y cardiaca) ha generado una creciente preocupación por parte de autoridades ambientales y de salud pública de la ciudad. A pesar de los esfuerzos realizados en años recientes, el problema de contaminación atmosférica es cada vez más severo. Esta situación se explica, en parte, por el acelerado crecimiento económico que se ha presentado en Bogotá. Dicho crecimiento se ve manifestado en una mayor demanda de energía así como en un acelerado consumo de combustibles fósiles. Las medidas de control de la contaminación que han sido implementadas hasta el momento se han visto opacadas por el incremento en las emisiones que resultan del crecimiento económico de la ciudad.

El diagnóstico del problema actual de contaminación del aire en Bogotá ha sido posible gracias a que desde el año de 1997 la ciudad cuenta con una moderna red de monitoreo de la calidad del aire (RMCAB), la cual se encarga de hacer seguimiento, en tiempo real, de las concentraciones de los distintos contaminantes así como de diversas variables meteorológicas. La información proporcionada por esta red de monitoreo es utilizada para establecer las tendencias de contaminación en la ciudad y para entender las variables que determinan dichas tendencias.

La información de calidad del aire generada por la RMCAB es también una herramienta de diseño de política pública, ya que sirve de soporte técnico y científico para las medidas y políticas que el gobierno local establece con el fin de mejorar las condiciones ambientales de la ciudad. Al mismo tiempo, en los registros de una red de monitoreo se encuentra la mejor información para hacer seguimiento a dichas medidas, de tal forma que se puede establecer si las mismas han tenido el efecto esperado.

La utilización de redes compuestas por estaciones fijas de monitoreo de la calidad del aire es una práctica común alrededor del mundo. La Zona Metropolita-

na del Valle de México cuenta actualmente con 47 estaciones de monitoreo operadas por el sistema de monitoreo atmosférico de Ciudad de México. Dicho sistema se compone de la red automática de monitoreo atmosférico, la red meteorológica, la red manual de monitoreo atmosférico y la red de depósito atmosférico. La ciudad de Beijing (China) cuenta con 28 estaciones automáticas de monitoreo de la calidad del aire, localizadas en un área de más de 100 km<sup>2</sup>. Estas estaciones, al igual que otros 150 puntos de muestreo pasivo, conforman la red de monitoreo ambiental de Beijing.

En 1993 se estableció la red de monitoreo ambiental de Londres, por medio de la cual se integraron una serie de antiguas estaciones de monitoreo. Esta red cuenta con sistemas de monitoreo de contaminantes criterio y variables meteorológicas en 30 de las áreas suburbanas más importantes de la ciudad. La información recopilada por dicha red se complementa diariamente con datos suministrados por estaciones independientes operadas por entidades de municipalidades aledañas. La red de Londres se encuentra equipada con un moderno sistema de información denominado AIRtext, por medio del cual se informa a la comunidad (vía correo electrónico y mensajes de texto) acerca de episodios severos de contaminación.

Otro ejemplo de redes de monitoreo de la calidad del aire es el sistema del Estado de California en Estados Unidos, que cuenta con más de 250 estaciones automáticas ubicadas estratégicamente. Esta red de monitoreo está organizada en 35 localidades distribuidas en 15 cuencas atmosféricas con características geográficas similares. Las estaciones son operadas por la agencia de calidad del aire de California, el distrito local de control de la contaminación del aire, el distrito administrativo de la calidad del aire y el servicio de parques nacionales. Este sistema de redes genera información en tiempo real para las concentraciones atmosféricas de contaminantes criterio, así como para una gran variedad de sustancias tóxicas.

El objetivo del trabajo aquí descrito fue el de generar un diagnóstico del problema de contaminación atmosférica de la ciudad de Bogotá, a partir de la información proveída por la autoridad ambiental local. Para dicho propósito se construyó una base de datos con registros validados y organizados referentes a las concentraciones atmosféricas de contaminantes criterio reportadas por la RMCAB.

#### METODOLOGÍA

La elaboración de este proyecto incluyó la consecución de la información de la red de calidad del aire de la ciudad (operada por la Secretaría Distrital de Ambiente), la organización y validación de dicha información, la construcción de una base de datos y el análisis estadístico de los datos en ésta contenidos.

Durante la primera etapa del trabajo, se recopiló la información proveída por la RMCAB para la totalidad de los registros (desde Septiembre de 1997 hasta Junio de 2007) de las 15 estaciones que conforman la red. Trece de estas estaciones son de monitoreo mixto (datos de calidad del aire y variables meteorológicas) mientras que las dos restantes sólo cuentan con equipos meteorológicos. Para los parámetros de calidad del aire, la red utiliza sistemas de medición con sensores tipo DASIBI y OPSIS.

Los equipos de medición de la red permiten el monitoreo continuo (con una resolución temporal de 10 minutos) de las concentraciones atmosféricas de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), material particulado en sus fracciones total (TSP), respirable ( $\text{PM}_{10}$ ) y fina ( $\text{PM}_{2.5}$ ), ozono ( $\text{O}_3$ ), monóxido de carbono (CO), metano, benceno, tolueno, formaldehído e hidrocarburos no metánicos. Las variables meteorológicas que se monitorean incluyen precipitación, temperatura, radiación solar, velocidad y dirección de viento, presión barométrica y humedad relativa.

Para la medición de las concentraciones atmosféricas de contaminantes la RMCAB utiliza analizadores beta

(PST,  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ ), equipos de fluorescencia UV ( $\text{SO}_2$  y  $\text{O}_3$ ), equipos de quimioluminiscencia ( $\text{NO}_x$ ) y sistema de correlación infrarroja (CO). No todas las estaciones que hacen parte de la red generan registros para todos los parámetros mencionados anteriormente.

A pesar de que las estaciones que conforman la red se encuentran distribuidas por toda la ciudad, se presenta una mayor densidad de éstas hacia la zona centro-occidental (Figura 1), en donde se concentra gran parte de la actividad vehicular e industrial. Las zonas cubiertas por las estaciones fijas de monitoreo corresponden a un amplio rango de condiciones de calidad del aire de tal forma que se encuentran estaciones en zonas residenciales con bajo tráfico vehicular, en zonas comerciales de alto tráfico vehicular, en zonas mixtas de carácter comercial y residencial, y en zonas de alta actividad industrial.

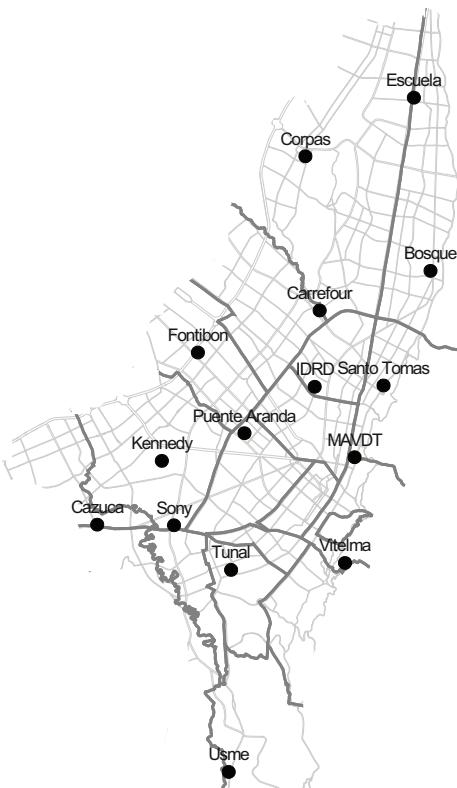


Figura 1. Ubicación de las estaciones de la red de calidad del aire de Bogotá.

(Nota: Los puntos negros representan la ubicación de las estaciones).

Para cada variable (meteorológica y de calidad del aire) que se incluyó en la base de datos se cuenta con más de 250,000 registros. Cada tabla de la base de datos (una tabla para cada una de las 15 estaciones que conforman la red) cuenta en promedio con 30 variables. De esta forma, la base de datos construida en este trabajo se encuentra compuesta por más de 110 millones de entradas.

Cada una de las tablas que hace parte de la base de datos en referencia cuenta con una librería de variables en la que se definen todos los campos (variables) de las tablas y se especifican las unidades de los valores reportados. Para todos los casos se cuenta con un campo de validación en el que se indica la confiabilidad de los valores. Este campo también especifica si no se contaba con información para una entrada en particular o si dicha entrada fue eliminada por considerarse fuera de tendencia durante el proceso de validación.

Con el fin de agrupar y evaluar la información de calidad del aire en la ciudad, se calcularon promedios horarios, diarios, mensuales y anuales, y se generaron series de tiempo para observar el comportamiento y las tendencias de los diferentes contaminantes. Todos estos resultados fueron comparados con los estándares de calidad del aire que hacen parte de la legislación ambiental colombiana. Adicionalmente, se generaron mapas de iso-concentración para diferentes contaminantes haciendo uso de un sistema de información geográfica. En el conjunto de contaminantes para los cuales se cuenta con información en la ciudad, en este trabajo se llevaron a cabo análisis para  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_3$  y  $\text{PM}_{10}$ , haciendo énfasis en este último por razones que serán discutidas más adelante.

Para cuantificar el grado global de contaminación atmosférica para toda Bogotá, se definió el índice porcentual de excedencias de la norma (IPE). Esta métrica fue utilizada para resumir el problema de contaminación en toda la ciudad. Esto es diferente al uso de promedios de valores reportados por todas las estaciones, metodología comúnmente utilizada a pesar de su inconveniencia y carencia de valor científico.

El IPE para toda la ciudad y para cada contaminante se calculó a partir de promedios diarios y horarios al compararlos con la norma de exposición prolongada (v.g., norma anual para material particulado), de acuerdo a la ecuación (1).  $N_E$  es el número de veces en el que el promedio horario/diario excede la norma usada como referencia y  $N_D$  es el número total de datos disponibles para cada una de las estaciones ( $i$ ) de la red.

$$\text{IPE} = \sum_i \left( \frac{N_E}{N_D} \right) \bullet 100 \quad (1)$$

## RESULTADOS

Tal como es el caso de otros centros urbanos, las condiciones meteorológicas y climatológicas de Bogotá influyen de manera muy importante en su calidad del aire. Dada su cercanía al Ecuador ( $4^{\circ}35' \text{N}$ ;  $74^{\circ}04' \text{W}$ ) y su altura sobre el nivel del mar (2,640 msnm) en Bogotá se observan elevados niveles de intensidad lumínica que en numerosas ocasiones superan los  $1,000 \text{ W m}^{-2}$ . La ciudad se encuentra limitada en el occidente por un río que lleva su mismo nombre y en el oriente por una cadena montañosa que juega un papel determinante en los patrones predominantes de viento. El área total de la zona urbana del distrito capital de Bogotá (dividido en 19 localidades) es de  $1,730 \text{ km}^2$  en donde habitan cerca de 7.9 millones de personas para una densidad poblacional de 4,550 habitantes por kilómetro cuadrado [1].

Bogotá cuenta con un régimen de lluvias bimodal con épocas lluviosas en los meses de marzo, abril, octubre y noviembre. La precipitación anual en la ciudad es de alrededor de 900 mm con una frecuencia que depende de la cercanía a los cerros orientales de la ciudad. Típicamente se presentan vientos en sentido oriente-occidente en horas de la mañana mientras que en la tarde los vientos predominantes viajan hacia el norte de la ciudad. La velocidad media del viento es de  $1 \text{ m s}^{-1}$ . Durante el mes de agosto

se presentan los vientos más fuertes en la ciudad. La temperatura media es de 14°C y la humedad relativa media es de 80%. Es común que en horas de la noche la temperatura descienda hasta los 4°C mientras que en el día se pueden registrar temperaturas de hasta 25°C [2].

El inventario oficial de emisiones indica que tanto industrias como vehículos aportan de manera significativa al problema de contaminación del aire que se observa en la ciudad. La flota vehicular supera las 1.2 millones de unidades [3] y se encuentra compuesta por vehículos cuya edad promedio es mayor a 10 años [4]. Estos valores son superiores a los observados en otras ciudades de América Latina tales como Sao Paulo, Santiago de Chile y Ciudad de México [5]. Los vehículos de transporte público de la ciudad se alimentan principalmente de combustibles diésel, que para el caso de Bogotá cuentan con elevados niveles de azufre, los cuales superan las 1,000 partes por millón.

Bogotá es el centro industrial más importante de Colombia. En esta ciudad se presentan todo tipo de actividades económicas incluyendo construcción, manufactura de bienes y prestación de servicios. Dichas actividades hacen que la ciudad aporte más del 25% del producto interno bruto nacional [1]. El consumo de combustible diésel (en sus formas vehicular e industrial) en la ciudad fue superior a los 300,000 galones diarios durante el año 2006 [6].

#### DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN BOGOTÁ

De acuerdo a los registros de la RMCAB, en Bogotá no se presenta un problema de contaminación del aire para SO<sub>2</sub> (Figura 2), NO<sub>2</sub> (Figura 3) y CO (Figura 4). Para el caso de SO<sub>2</sub>, las concentraciones atmosféricas rara vez superan la norma anual que rige para la ciudad (26 ppb). Lo mismo ocurre para las normas diaria y de 3 horas. Algo similar se observa para las concentraciones de NO<sub>2</sub>, las cuales típicamente son inferiores a la norma anual de la ciudad (53 ppb). Para

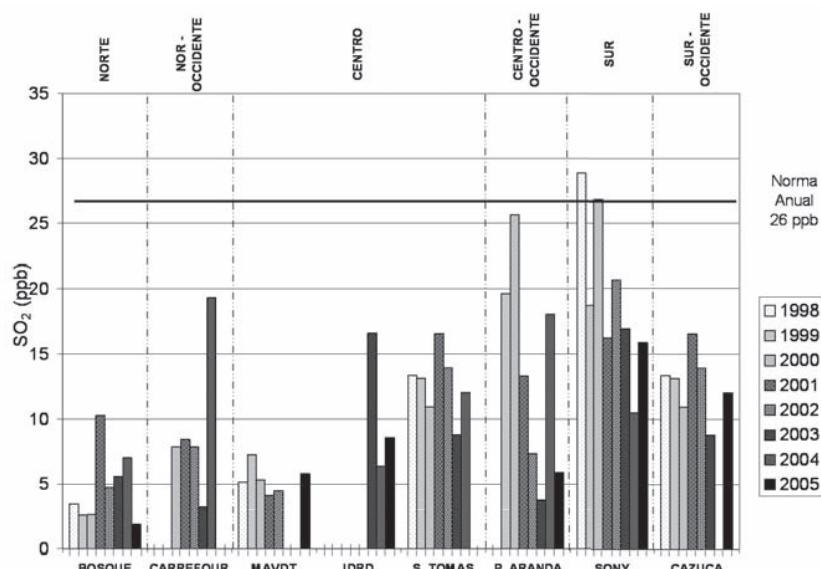


Figura 2. Concentraciones medias anuales de SO<sub>2</sub> en Bogotá. Los nombres en el eje horizontal hacen referencia a las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo ilustrada en la Figura 1.

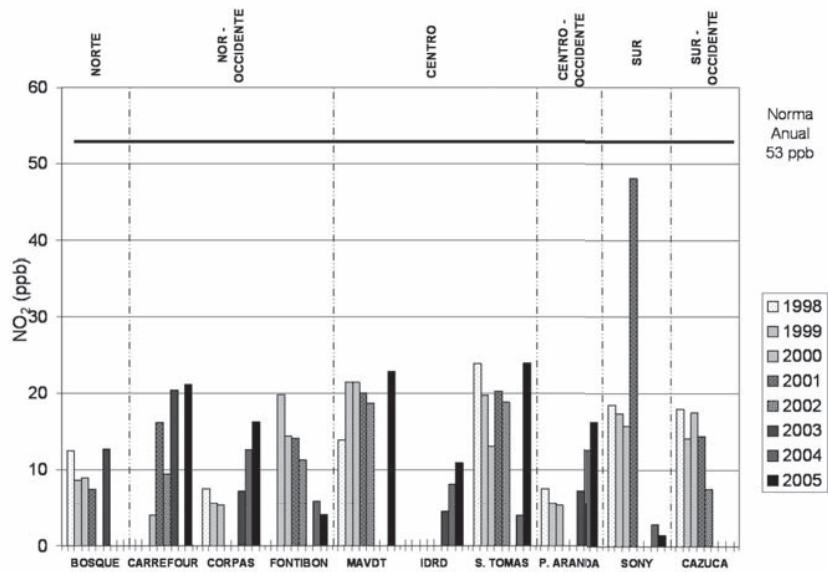


Figura 3. Concentraciones medias anuales de  $\text{NO}_2$  en Bogotá. Los nombres en el eje horizontal hacen referencia a las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo ilustrada en la Figura 1.

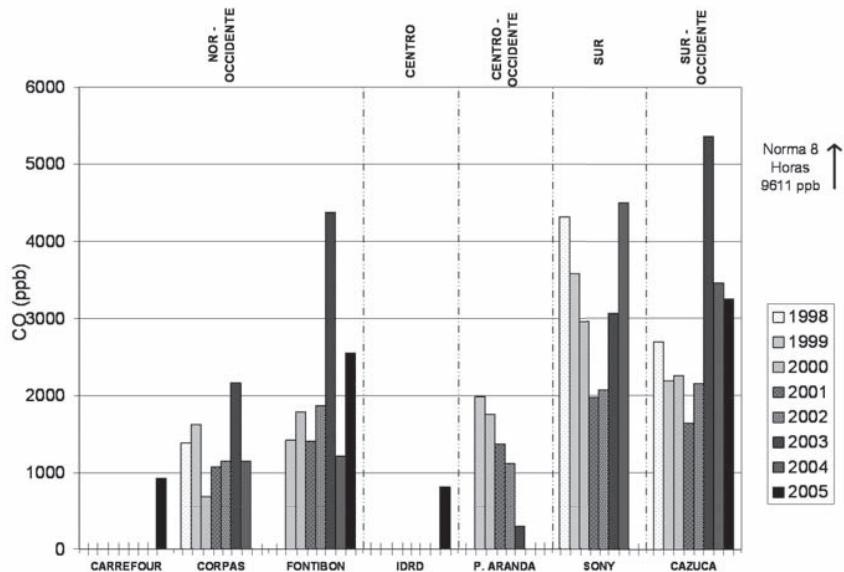


Figura 4. Concentraciones medias anuales de CO en Bogotá. Los nombres en el eje horizontal hacen referencia a las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo ilustrada en la Figura 1.

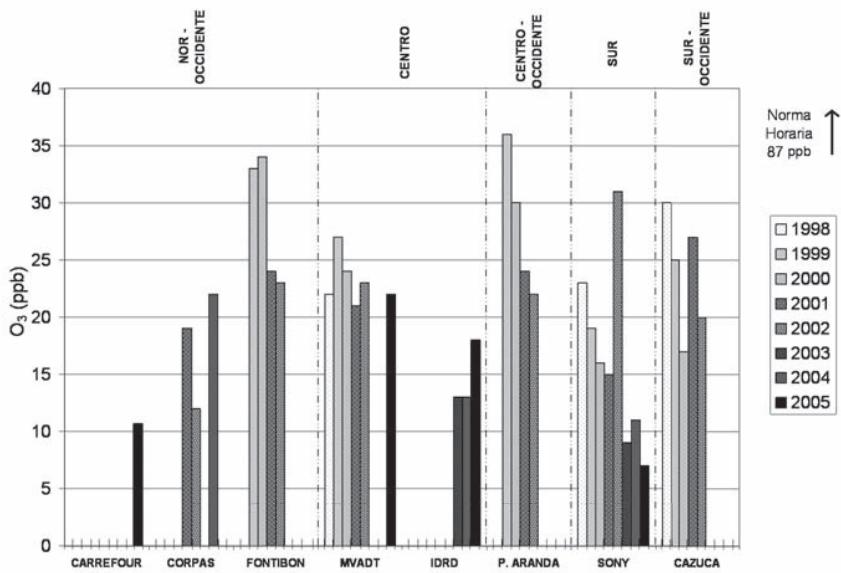


Figura 5. Concentraciones medias anuales de O<sub>3</sub> en Bogotá. Los nombres en el eje horizontal hacen referencia a las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo ilustrada en la Figura 1.

el ozono troposférico (Figura 5) y el CO se observan concentraciones relativamente bajas en la ciudad, que para el caso de este último contaminante suelen ser inferiores a 5 ppm.

Si bien es necesario un análisis más riguroso para llegar a la conclusión definitiva de que los contaminantes antes mencionados no representan un problema para Bogotá, la importancia relativa de éstos —en términos de su contribución a los niveles de contaminación en la ciudad— sí es posible de cuantificar mediante los métodos aquí utilizados. Esto es especialmente cierto al observar los resultados obtenidos para el material particulado.

#### MATERIAL PARTICULADO

De manera contraria a lo observado para CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>, las concentraciones atmosféricas de material particulado superan los valores establecidos por la reglamentación ambiental de la ciudad. En particular, en la zona industrial de Bogotá (localidad de Puente Aranda), dichas violaciones a la norma se presentan de manera permanente desde hace varios años. La Figura 6 muestra las concentraciones medias

anuales de PM<sub>10</sub> para las 11 estaciones de la RMCAB que cuentan con equipos para las mediciones de dicho contaminante. Entre los años 1998 y 2005, siete de estas estaciones han reportado medias anuales que superan la norma anual para PM<sub>10</sub>.

Los datos reportados por la RMCAB representan una evidencia importante de que el principal contaminante del aire en la ciudad de Bogotá es el material particulado. La Figura 7 muestra los resultados referentes a las violaciones de la norma de calidad del aire para PM<sub>10</sub> expresados en términos de la métrica IPE. Dicha métrica, tal y como fue discutida en la sección de metodología, es una medida de contaminación para toda la ciudad, definida como la sumatoria de los porcentajes de excedencia observados en toda la red de monitoreo de la calidad del aire. Para el caso de Bogotá, estos resultados implican que desde el año 2001 y a nivel de toda el área urbana del distrito capital se incumple la norma anual local de PM<sub>10</sub> (55 ug m<sup>-3</sup>) en más del 40% de los días del año. Esto significa que durante una proporción significativa de tiempo, los habitantes de la ciudad se encuentran expuestos a niveles de contaminación por material particulado que

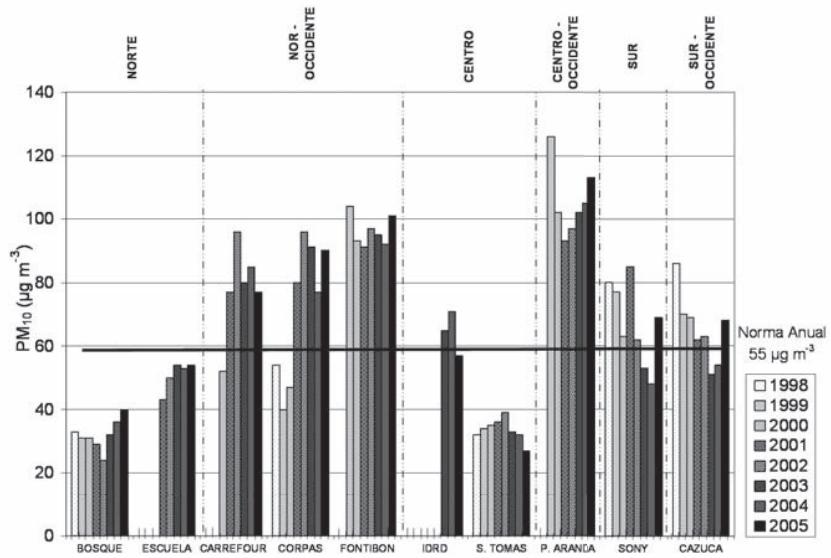


Figura 6. Concentraciones medias anuales de PM<sub>10</sub> en Bogotá. Los nombres en el eje horizontal hacen referencia a las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo ilustrada en la Figura 1.

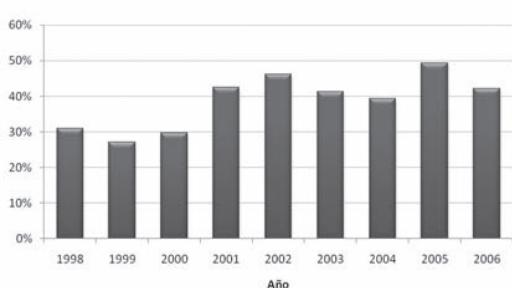


Figura 7. Índice de porcentaje de excedencia de la norma anual de PM<sub>10</sub> en Bogotá. Este índice fue calculado a partir de los promedios diarios de PM<sub>10</sub> reportados por todas las estaciones de la ciudad.

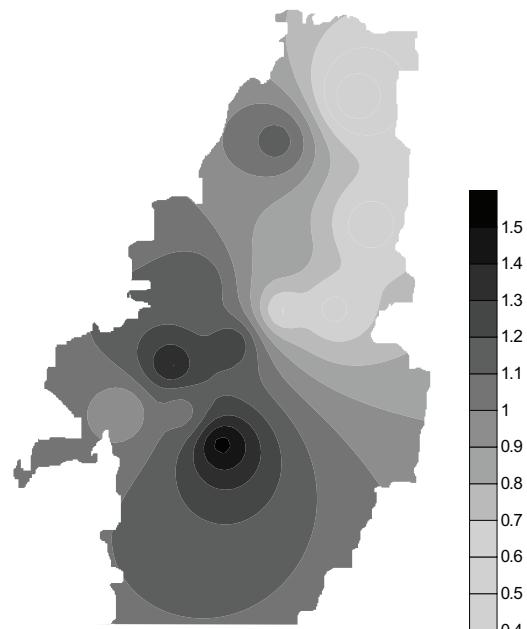


Figura 8. Mapa de iso-concentraciones de PM<sub>10</sub> en Bogotá para el año 2006. La escala de grises representa el nivel de cumplimiento/incumplimiento de la norma anual (1.0 significa que el promedio anual fue equivalente al valor de la norma anual).

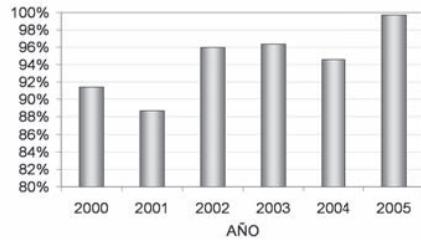


Figura 9. Índice de porcentaje de excedencia de la norma anual de  $PM_{10}$  en la zona industrial de Bogotá. Este índice fue calculado a partir de los promedios diarios de  $PM_{10}$  observados en la estación de calidad del aire localizada en dicha zona.

son considerados como inadecuados por entidades como la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y la Organización Mundial de la Salud.

En la Figura 8 se puede apreciar que esta situación es particularmente crítica en la zona industrial de la ciudad (ubicada en el centro-occidente) en la que es común que más del 90% de los días del año se presenten valores superiores al equivalente a la norma anual de  $PM_{10}$  (Figura 9). Durante el año 2005, dichas excedencias se presentaron cerca del 100% de los días del año.

La Figura 10 muestra el IPE para toda la ciudad y para todos los contaminantes criterio considerados en este estudio. Estos resultados representan evidencia adicional de que el  $PM_{10}$  es el contaminante crítico en Bogotá. Esto a su vez demuestra que las políticas de control ambiental y de mejoramiento de calidad del aire en la ciudad deben estar enfocadas hacia dicho contaminante.

La Figura 11 muestra una media móvil (paso = 365) de las concentraciones medias diarias de  $PM_{10}$  registradas en la estación localizada en la zona industrial de Bogotá. Estos resultados muestran que la contaminación por material particulado en esta zona de la ciudad se vio incrementada entre el año 2001 y el año 2005. Esta tendencia es similar a la que se observa para el crecimiento del producto interno bruto de la

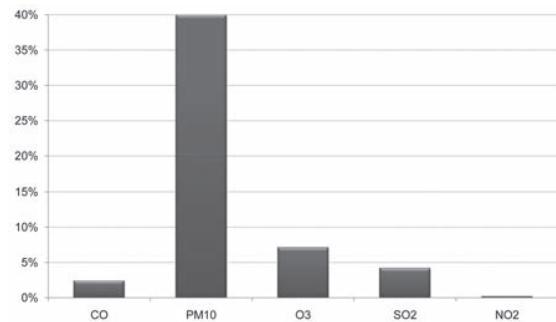


Figura 10. Índice de porcentaje de excedencia de la norma de calidad del aire para CO,  $PM_{10}$ , O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, y NO<sub>2</sub> durante el año 2006. Estos índices hacen referencia a la frecuencia de violaciones de la norma de exposición prolongada para los promedios reportados por todas las estaciones de la ciudad.

ciudad. En esta misma figura se observa una disminución notable en los niveles de contaminación entre los años 2000 y 2001. Este comportamiento se explica, en parte, por el mejoramiento de la calidad de los combustibles diésel que se distribuyen en la ciudad. En el año 2000 se estableció una normatividad que especificaba que el diésel comercializado en la ciudad no debería tener un contenido de azufre superior a 1,200 ppm (anteriormente el contenido de azufre en el diésel comercializado en Bogotá era de 4,500 ppm).

Los resultados mostrados en la Figura 11 también sugieren que durante el año 2006, la contaminación por  $PM_{10}$  se redujo en la zona industrial de la ciudad. De acuerdo a resultados preliminares de otros estudios actualmente en desarrollo y que aún no han sido publicados, gran parte de dicha disminución se debe a variables meteorológicas tales como la velocidad del viento.

La Figura 12 muestra las concentraciones de  $PM_{10}$  y los valores de velocidad del viento registrados durante los últimos siete años en la estación de la RMCAB ubicada en la zona industrial de Bogotá. De estos resultados es evidente la influencia que la velocidad del viento ejerce en los niveles de contaminación por material particulado que se perciben en esta zona de la ciudad: a mayor velocidad del viento, la concentración por material particulado es menor. Para estas dos variables se obtuvo un coeficiente de correlación

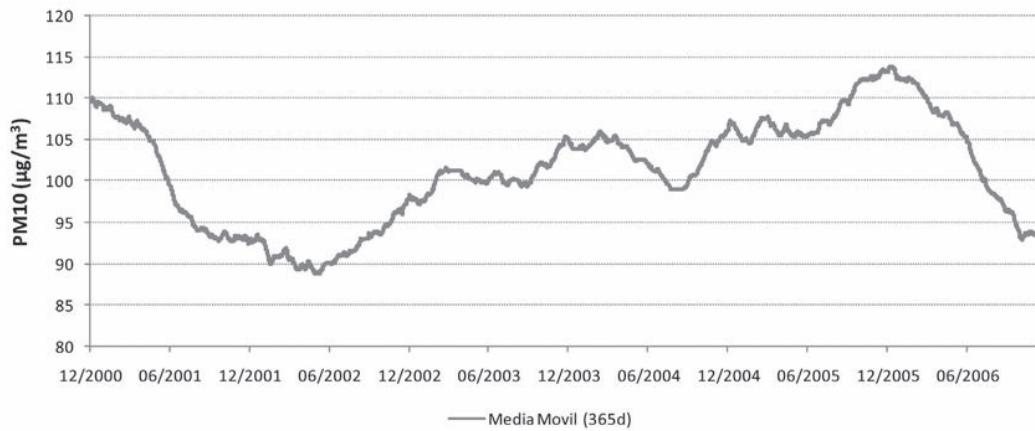


Figura 11. Concentraciones atmosféricas de material particulado en la zona industrial de Bogotá

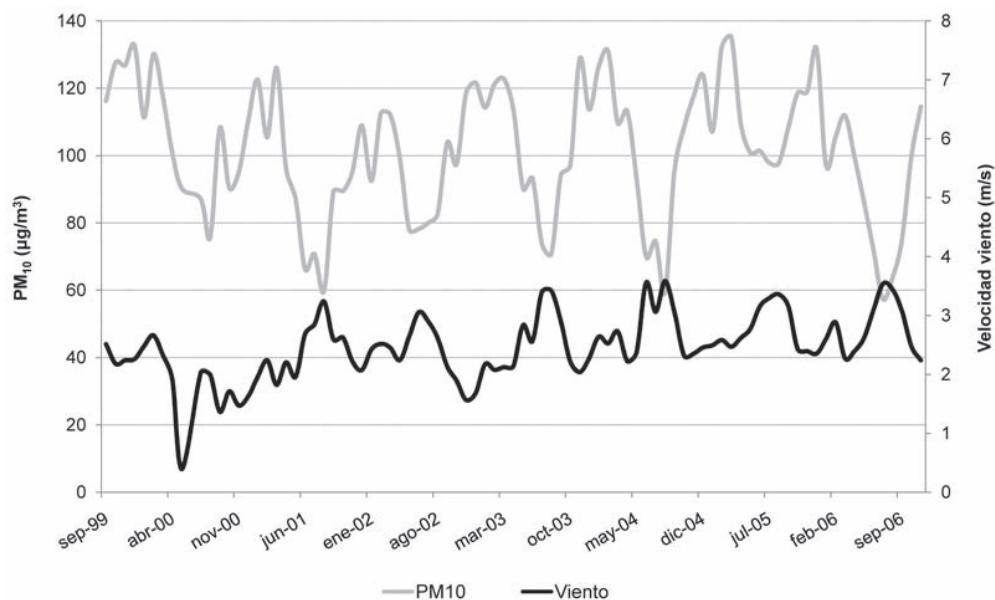


Figura 12. Concentraciones atmosféricas de material particulado en la zona industrial de Bogotá y su relación con la velocidad del viento.

(inversa) de Pearson ( $r$ ) de 0.65. Al realizar un análisis similar considerando otras variables, tales como la intensidad de precipitación, no se logró mejorar dicho coeficiente de forma significativa. Estos resultados sugieren que la velocidad del viento es la variable meteorológica que más influye en los niveles de contaminación por material particulado en Bogotá.

En este mismo sentido se puede resaltar que los valores de velocidad del viento observados durante los primeros meses del año 2006 son superiores a aquellos observados en años anteriores (Figura 12). Esta situación es la que explica gran parte de la reducción en los niveles de contaminación por material particulado que se observan para este mismo año (Figura 11).

#### CONCLUSIONES

El análisis de los datos de calidad del aire en conjunto con la información meteorológica permitió establecer que la velocidad del viento es el parámetro más influyente (por encima de la intensidad de precipitación) en los niveles de contaminación por material particulado percibidos en la ciudad de Bogotá. A mayor velocidad del viento la concentración por material particulado es menor. Para estas dos variables se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.65.

Según los resultados de este trabajo y de acuerdo a los registros de la red de monitoreo de la calidad del aire de Bogotá, en la ciudad no se presenta un problema de contaminación del aire para SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO y O<sub>3</sub>. Para todos estos contaminantes las concentraciones registradas por la red de monitoreo de la ciudad suelen ser inferiores a los límites establecidos por la regulación ambiental local.

De manera contraria a lo observado para los contaminantes mencionados anteriormente, las concentraciones atmosféricas de material particulado superan los valores establecidos por la reglamentación ambiental de la ciudad. En particular, en la zona industrial de Bogotá las violaciones a la norma de calidad del aire se presentan de manera permanente desde hace va-

rios años. Entre los años 1998 y 2005, siete estaciones de la red han reportado medias anuales que superan la norma anual para PM10.

Desde el año 2001 y a nivel de toda el área urbana del distrito capital se incumple la norma anual de PM10 en más del 40% de los días del año. Esto significa que durante una proporción significativa de tiempo, los habitantes de la ciudad se encuentran expuestos a niveles de contaminación por material particulado que son considerados inadecuados por entidades como la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y la Organización Mundial de la Salud. Esta situación es particularmente crítica para la zona industrial de la ciudad en la que es común que más del 90% de los días del año se presenten valores superiores al equivalente a la norma anual de PM10.

Los resultados de este trabajo muestran claramente la forma como la contaminación por material particulado en la ciudad se ha visto incrementada durante los últimos años. Esta tendencia se explica por el crecimiento económico de la ciudad en ausencia de medidas efectivas para el control de las emisiones causadas por las fuentes fijas y móviles.

**AGRADECIMIENTOS**

Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá.

**REFERENCIAS****[1] Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).**

*Censo 2005*, 2006. Disponible en: [www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co).

**[2] Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (DAMA).**

*Informe anual de calidad del aire de Bogotá año 2005*. 2006.

**[3] Ministerio de Transporte de Colombia,**

*Reporte de la distribución vehicular en Bogotá*. 2006. Disponible en: [www\[mintransporte.gov/servicios/estadisticas/transporte\\_automotor.htm](http://www[mintransporte.gov/servicios/estadisticas/transporte_automotor.htm)

**[4] Secretaría de Tránsito****[5] J. Lents.**

“Estudio de actividad vehicular en Sao Paulo”.

*International Sustainable System Research*. California, 2004.

**[6] Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia (UPME).**

*Boletín mensual de precios*. Ministerio de Minas y Energía de Colombia. Julio 2006.

**BIBLIOGRAFÍA****Arrieta, S.M.**

*Análisis de costos asociados al mejoramiento de la calidad del combustible en Colombia*. Proyecto de Grado. Universidad de los Andes, Colombia, 2006.

**Behrentz, E.**

“Contaminación atmosférica en Bogotá: relación entre salud pública y calidad del combustible vehicular y propuesta de acciones pertinentes”. *Revista ANDESCO*, 2006, N° 12: 11-17

**Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales (IDEAM).**

*Documento de soporte norma de calidad del aire*. Subdirección de estudios ambientales, Bogotá, 2006.

