

CALIDAD DEL AIRE EN EL VALLE DE ABURRÁ ANTIOQUIA -COLOMBIA

AIR QUALITY IN THE ABURRÁ VALLEY ANTIOQUIA-COLOMBIA

JULIAN BEDOYA

Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, jbedoyausa@yahoo.com

ELKIN MARTÍNEZ

Salud Pública, Universidad de Antioquia, elkmartz@guajiros.udea.edu.co

Recibido para revisar mayo 30 de 2008, aceptado noviembre 21 de 2008, versión final diciembre 12 de 2008

RESUMEN: Medellín y otros 9 municipios vecinos conforman un área metropolitana densamente poblada concentrada en un hábitat geográficamente estrecho y poco ventilado. Las múltiples actividades industriales y de transporte que se realizan en la ciudad arrojan a la atmósfera cantidades de contaminantes que podrían estar afectando desfavorablemente la calidad del aire que respiran sus habitantes. Analizar la calidad del aire en Medellín y su área metropolitana período 2001-07.. Se explora el comportamiento de los contaminantes atmosféricos en el área Metropolitana del valle de Aburrá, con base en los datos primarios recolectados por la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire. Se confirma la información con mediciones actualizadas realizadas con rigor de precisión y reproducibilidad para garantizar la calidad y consistencia de los datos. Las concentraciones de partículas en suspensión total (PST) y de partículas respirables (PM10) se encuentran elevadas a niveles que exceden en 200-400% los límites de precaución definidos por la Organización Mundial de la Salud y la tendencia es al empeoramiento a medida que crece la densidad vehicular. También hay presencia de otros gases contaminantes en concentraciones menores. La contaminación del aire por material particulado en Medellín y su área metropolitana es alta, y ha de estar generando consecuencias indeseables en la salud de sus habitantes.

PALABRAS CLAVE: Contaminantes Atmosféricos, Calidad Del Aire, Óxidos De Nitrógeno, Óxidos De Azufre.

ABSTRACT: Medellín and surrounding municipalities make up a metropolitan area with high population density, with a lot of industrial, business, social and service activities. Everything is concentrated in a narrow valley with low levels of ventilation. All these industrial and transportation activities deposit into the air large amounts of pollutants that local community have forcefully to breath. To analyze air quality in Medellín and surrounding metropolitan area. Air pollutants are explored for the last several years in Medellín and its Metropolitan Area based on monitoring data crossed with additional measurements campaigns to ensure quality in the information being analyzed. Total suspended particles (PST) and breathing particles (PM10) are found in levels above 200-400% of precautionary limits as defined by the World Health Organization (WHO). The tendency is going from bad to worse along with the increase in density of people, buildings and motor vehicles. There are also other pollutant gases with some concern for Nitrogen Oxide and Ozone; the concentrations of the other gases are at low levels. Air pollution in the metropolitan área of Medellín is high, dealing with breathing particulate matter and must be causing undesirable effects on the health of the local inhabitants.

KEY WORDS: Air Pollution, Air Quality, Nitrogen Oxides, Sulphus Oxides.

1. INTRODUCCIÓN

Más de 3 millones de personas han establecido su lugar de residencia a lo largo del Valle que atraviesa el río Medellín en un entorno que presenta especiales características. La expansión urbana ha ido borrando los límites entre los 10 municipios que conforman el Área Metropolitana y por lo tanto la población se ha concentrado en el espacio limitado de su área geográfica longitudinal. Las cordilleras altas que rodean el valle y el régimen de vientos de baja velocidad que provienen del norte permiten la generación de un microclima relativamente estable y agradable a temperaturas promedio alrededor de los 22 °C.

El desarrollo industrial propicia una mayor concentración de personas en torno a su lugar de empleo y aumenta los requerimientos de transporte de los ciudadanos desde y hasta los lugares de residencia, por ello más de 500 mil vehículos a motor circulan regularmente en el área metropolitana. Esto nos sitúa en una localidad metropolitana densamente poblada, con una efervescente actividad industrial, comercial, social y de servicios, ocupando un hábitat geográficamente estrecho y rodeado de un volumen atmosférico semicautivo [1].

Las actividades industriales y de transporte arrojan a la atmósfera contaminantes como material particulado, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, monóxido de carbono, ozono y otros ²⁻⁴, por lo cual resulta procedente preguntarse: ¿Cuál será la calidad de aire en Medellín y su área metropolitana? ¿Cómo son los niveles de contaminantes en la atmósfera? ¿Cómo se distribuyen? y ¿Qué peligros potenciales se estarían generando? Estos interrogantes son el objeto básico del presente documento.

2. MÉTODOS

2.1 Tipo De Estudio

Estudio descriptivo longitudinal que explora el comportamiento de los contaminantes atmosféricos en Medellín y su área metropolitana.

2.2 Variables

Se estudian los contaminantes primarios básicos en la atmósfera generados por procesos erosivos y por la combustión de elementos fósiles tales como material particulado, tanto en forma de partículas totales en suspensión (PST) como en partículas respirables de menor tamaño (PM₁₀). Se revisa el comportamiento de tres gases relacionados con efectos tóxicos sobre el organismo: óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x) y monóxido de carbono (CO). Como derivado de reacciones fotoquímicas, también el ozono (O₃) se describe en sus variaciones temporales de concentración.

2.3 Datos

Se analizan los datos primarios recolectados por la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire durante el período 2001-07. Se incluyen todos los registros existentes para cada uno de los contaminantes a fin de tener la más alta cobertura total del período y se confirman los datos con mediciones actualizadas con el rigor de la precisión y la reproducibilidad.^{5,6}

2.4 Análisis Estadístico

Las series de tiempo para los distintos contaminantes se grafican y se exploran con técnicas de suavización exponencial para promedios móviles, utilizando agregados de 6, 9 y 12 datos. Se exploran líneas de tendencia lineal sobre el criterio de mínimos cuadrados en el abordaje de regresión, la pendiente se prueba en su significación estadística mediante intervalos de confianza del 95% para el estimador y con la prueba T de Student para confirmar su diferencia de cero.

Para el material particulado se seleccionan las series de datos que ofrecen mayor consistencia y continuidad con lo cual la serie del Politécnico Jaime Isaza Cadavid nos resulta el indicador más apropiado entre las estaciones centrales situadas en el valle del río Medellín.

3. RESULTADOS

3.1 Partículas totales en suspensión (PST)

Los promedios anuales de material particulado en las diversas estaciones de Medellín y del área metropolitana varían desde $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La ubicación de las estaciones también es variable y fluctúa en altura desde 2 m hasta 30 – 40 m sobre el nivel de la vía más cercana.

En general, el comportamiento del material particulado (PST) muestra oscilaciones cíclicas que se presentan semestralmente (figura 1), ascendiendo en los periodos laborales en armonía con el aumento de las actividades productivas y el transporte vehicular, y descendiendo en los periodos de vacaciones también en armonía con la reducción de las actividades laborales y con el éxodo de personas desde las áreas urbanas hacia las áreas de recreación y el campo.

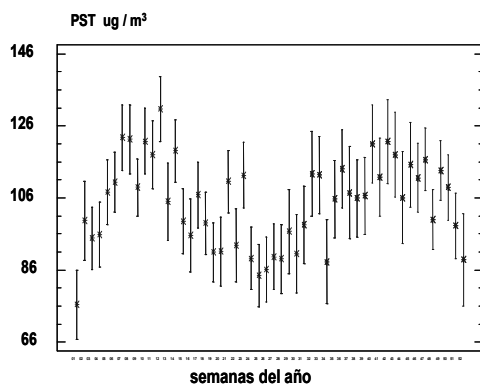


Figura 1. Comportamiento cíclico anual del material particulado en el aire. Medellín 2001-07

Figure 1. Annual cyclic behavior of particulate matter in the air. Medellín 2001-07

Algunas estaciones detectan muy bien la tendencia ascendente del material particulado, en concordancia con el aumento en el parque automotor dentro de la limitada red vial de la ciudad. El ascenso observado durante el periodo de los años más recientes representa un incremento anual de $4,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (IC 95% 2,19 – 5,48) (figuras 2 y 3). En otras estaciones los niveles se sostienen en valores altos ($140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ U. Nacional).

Aún a pesar de la distancia que hay entre las estaciones de medición y las fuentes móviles de emisión, los valores de concentración de material particulado total (PST) se registran por encima de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en los sectores centrales del valle que ocupa Medellín y los municipios adosados urbanísticamente, es decir Bello, Itagüí, Envigado y Sabaneta.

Los niveles promedio de material particulado en los municipios más periféricos, del área metropolitana, es decir, Barbosa, Girardota, Copacabana y La Estrella son, en general, más bajos ($50 - 80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en comparación con los municipios que conforman el gran bloque urbano central del área metropolitana ($100 - 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

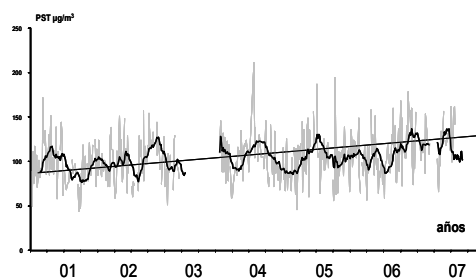


Figura 2. Concentración de partículas suspendidas en el aire. Medellín 2001 –07

Figure 2. Particulate matter suspended in the air. Medellín 2001 – 07

La Organización Mundial de la Salud ha promulgado las directrices para la conservación del aire limpio en su objetivo de preservar la salud de la humanidad. El ideal sería tener concentraciones mínimas de partículas, tan solo las que genera la propia naturaleza, sin embargo, un nivel de precaución sanitaria se estima en $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PST, lo cual se corresponde aproximadamente con $15-20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y con $7-10$ para $\text{PM}_{2.5}$. [7-11]

3.2 Material Particulado Respirable (PM_{10})

Los valores promedio registrados varían entre 28 y $124 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con promedio general de 65.3.

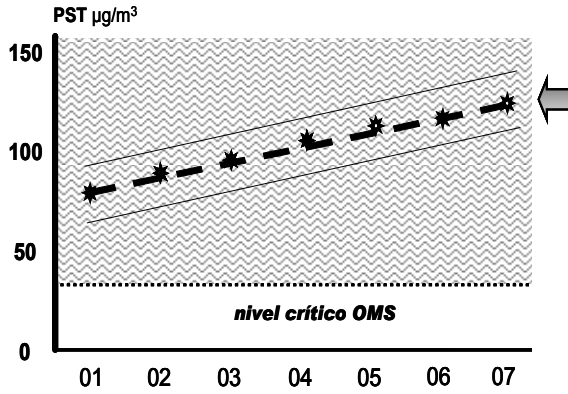


Figura 3. Niveles de Material Particulado Total Promedios anuales. 2001- 07
Figure 3. Levels of Total Particulate Matter. Annual averages. 2001- 07

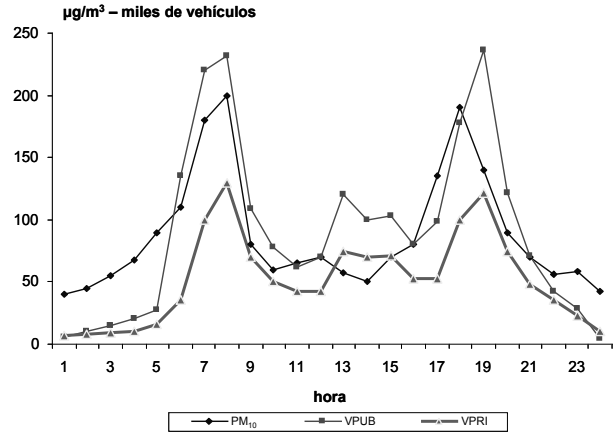


Figura 4. Ciclo diario de PM₁₀ y tránsito vehicular. Promedios horarios Medellín AMVA
Figure 4. Daily cycle of PM₁₀ and vehicle transit. Hour Averages Medellín AMVA

La medición de partículas respirables (PM₁₀) es de aplicación más reciente en la ciudad. No hay seguimiento sistematizado de la concentración de este contaminante en los municipios periféricos del área metropolitana y tan solo 3 estaciones funcionan regularmente en la región central del valle (Guayabal, Corantioquia y Aguinaga).

Los valores registrados en los últimos años en la ciudad exhiben una evolución que concuerda bien con el comportamiento de las partículas en suspensión total, es decir, muestran las variaciones cíclicas descritas para el día en clara correspondencia con los periodos laborales y en armonía con las variaciones de la densidad vehicular. (figura 4)

La tendencia de los valores de concentración es hacia un aumento gradual con gradiente de aumento por año de 2.6 µg/m³ (IC 95% 1,0 – 4,2) El comportamiento en valores es notablemente similar para los registros de las tres estaciones y da cuenta de una gran consistencia de los datos con valores que oscilan ente 58 – 68 µg/m³.

Mediciones actualizadas permiten registrar valores promedios diarios de 80 – 100 µg/m³ y variaciones diarias que no descienden por debajo

de 30 – 40 µg/m³ y que alcanzan a subir hasta 200 – 300 µg/m³ en los momentos de alta congestión vehicular.

La contaminación atmosférica por material respirable supera los niveles de precaución internacional (50 µg/m³) y excede las directrices que traza la Organización Mundial de la Salud, en la cual se proclama la necesidad de no rebasar los 20 µg/m³ para la exposición prolongada. [7-11] (figura 5)

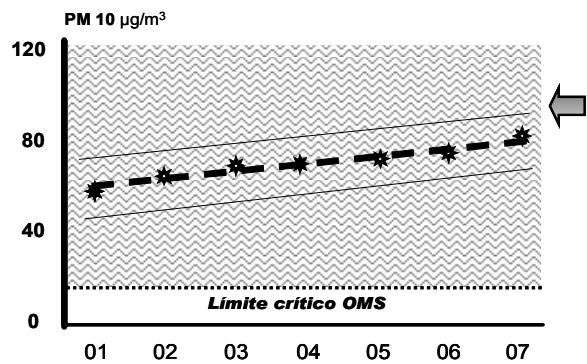


Figura 5. Niveles de Material Particulado Respirable (PM₁₀) Promedios anuales. Medellín 2001-07
Figure 5. Levels of Breathing Particulate Matter (PM₁₀). Annual averages. Medellín 2001-07

3.3 Óxidos de Nitrógeno (NO_x)

Las concentraciones de NO_x en el área metropolitana varían desde 2 hasta 90 µg/m³, con un promedio de 39.2 en el periodo estudiado. Los Óxidos de Nitrógeno no se miden en todas las estaciones de la red metropolitana, tal como se hace con las partículas en suspensión total. Las estaciones en las universidades han puesto mayor atención en este contaminante; aunque el registro fue un tanto irregular al principio, en los últimos años la continuidad y confiabilidad de los datos mejoró notablemente. Para los últimos 7 años se observa una leve tendencia al ascenso, con valores que se inician en 35 – 38 µg/m³ y que avanzan en el transcurso hasta 45-50 µg/m³. (Figura 6).

Las curvas de comportamiento de la concentración de NO_x en relación con el tiempo son similares para las diversas estaciones estudiadas, al igual que la magnitud y la tendencia de los valores. Las oscilaciones cíclicas temporales son algo erráticas e irregulares, en comparación con los ciclos más uniformes que se registran para el material particulado.

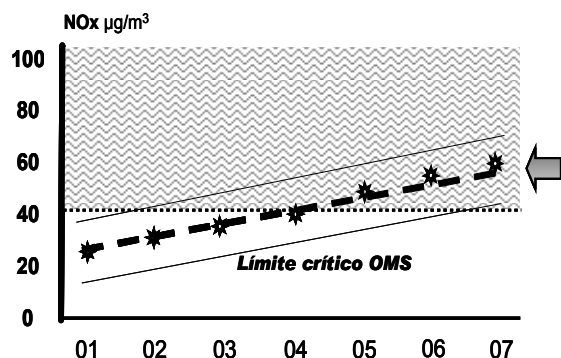


Figura 6. Niveles de Óxidos de Nitrógeno (NO_x) Promedios anuales. Medellín 2001-07

Figure 6. Nitrogen Oxide levels (NO_x). Annual averages. Medellín 2001-07

3.4 Óxidos De Azufre (SO_x)

Las concentraciones promedio de SO_x en el área metropolitana varían desde 0.1 hasta 50.6 µg/m³, con un promedio de 10.3. Al igual que los

Óxidos de Nitrógeno, los Óxidos de Azufre (SO_x) no se registran sistemáticamente en la misma medida en la cual se registra el material particulado total. Las estaciones de la Universidad Nacional y del Politécnico ofrecen las series que aportan registros un poco más regulares.

Los valores registrados se encuentran por debajo de 20 µg/m³, lo cual se plantea como valores poco confiables en términos de la sensibilidad del método químico que analiza su concentración. Las variaciones cíclicas de los Óxidos de Azufre son irregulares y erráticas como ocurre con los Óxidos de Nitrógeno, pero son similares para las 3 estaciones que registran este contaminante, lo cual aporta sentido de consistencia y fiabilidad de los datos.

La tendencia de este contaminante es a la estabilidad o bien al ascenso moderado, al menos en el transcurso de los últimos años los valores varían con marcadas oscilaciones alrededor de 10-15 µg/m³. (figura 7).

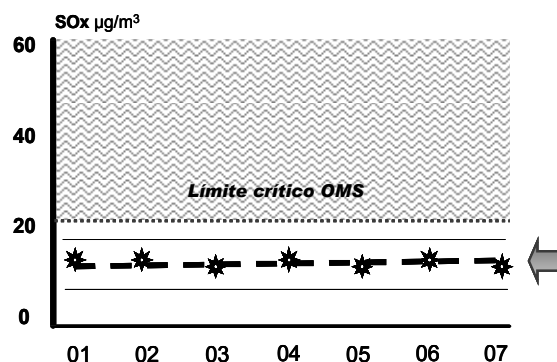


Figura 7. Niveles de Óxidos de Azufre (SO_x) Promedios anuales. Medellín. 2001-07

Figure 7. Sulfur Oxide levels (SO_x). Annual averages. Medellín. 2001-07

3.5 Monóxido De Carbono (CO)

Los niveles promedio de Monóxido de Carbono en el área metropolitana varían desde valores mínimos muy cercanos a cero hasta valores de 6–7 ppm, con promedios cercanos a 2 ppm.

El comportamiento consolidado de los datos muestra una leve tendencia al descenso a través de los años con datos que son muy similares para

las tres estaciones que registran sistemáticamente este contaminante.

Los datos recogidos en las estaciones de Guayabal, Aguinaga y AMVA tienen considerables limitaciones en cuanto a la continuidad. A pesar de disponer de algunos registros desde el año 2002, para los cuales al parecer hubo dificultades técnicas, las series solo cobran regularidad a partir del 2005.

Los hallazgos son consistentes en las 3 estaciones en relación con la magnitud de la concentración del CO y también en relación con la tendencia, la cual muestra estabilidad y sostenimiento a través del tiempo. (figura 8).

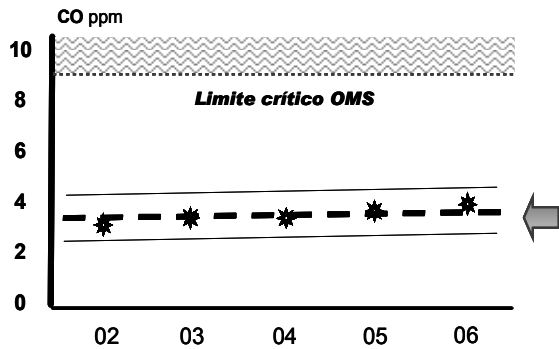


Figura 8. Niveles de Monóxido de Carbono (CO) Promedios anuales. Medellín 2001-07

Figure 8. Levels of Carbon Monoxide (CO). Annual averages. Medellín 2001-07

3.6 Ozono (O₃)

Los datos de la formación de Ozono en la atmósfera se colectan en forma muy limitada. La estación de Guayabal es una de las pocas estaciones bien implementadas y completas del área metropolitana y reporta datos desde el año 2003.

La descripción de los niveles de contaminación en el transcurso de las horas del día muestra un perfil clásico de comportamiento, con valores que son bajos en las primeras horas del día y que de una manera acentuada se elevan para las horas soleadas del medio día, alcanzando valores entre 50 y 100 ppb y se regresan a sus niveles basales en las horas de la tarde (figura 9)

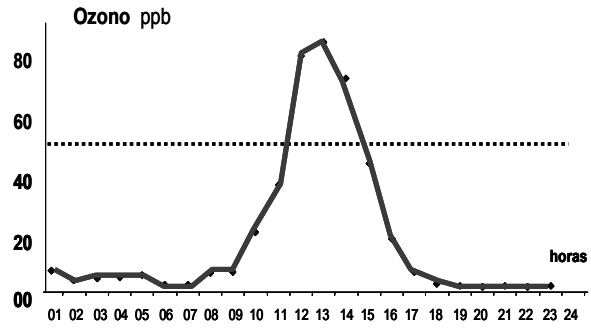


Figura 9. Ciclo diario de ozono Medellín Promedios horarios. Estación automática AMVA
Figure 9. Daily cycle of ozone. Horary averages. Automatic station AMVA

Los promedios de Ozono en el área metropolitana varían desde cero hasta 47 ppb, con promedio de 17 para el periodo estudiado. Los valores de promedios para periodos en 8 horas en la estación de Guayabal se sitúan por debajo de los niveles de precaución sanitaria que propone la OMS en un valor de 50 ppb equivalentes a 100 µg/m³. (figura 10)

En general, los valores del Ozono, dada la magnitud de sus concentraciones no parecen ser un factor crítico en la contaminación atmosférica que enfrentan los habitantes, al menos durante la mayor parte del día.

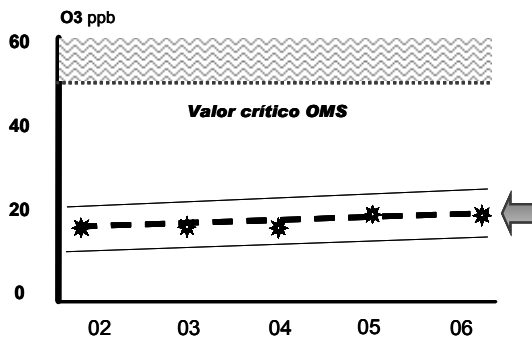


Figura 10. Niveles de Ozono (O₃). Promedios anuales, Medellín. 2001-07

Figure 10. Ozone levels (O₃) Annual averages, Medellín. 2001-07

4. DISCUSIÓN

Es evidente que hay una variación cíclica del material particulado en el transcurso de las 24 horas del día. Los valores se elevan en la mañana y en la tarde en concordancia con los picos del tránsito automotor en la ciudad. Esta variación tan armónica entre la contaminación atmosférica y la densidad del tránsito vehicular reafirma la dependencia entre estas variables y permite aseverar que la combustión de los vehículos automotores es la principal responsable de los niveles de material particulado tan altos que se presentan en los ambientes urbanos. [12]

Las mediciones de material respirable PM_{10} muestran la misma tendencia ascendente, en una tasa de aumento de 2 - 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por año, lo cual confirma la acumulación creciente de partículas de hollín en correspondencia con el aumento de las emisiones por la combustión de los vehículos automotores grandes, especialmente buses, camiones y volquetas.

Otros factores hacen más crítica la situación de contaminación en Medellín dadas las condiciones geográficas de la ciudad y su área metropolitana. Asentada sobre un estrecho valle, las cadenas montañosas bloquean las corrientes de aire que pudieran ventilarla y solo permiten el recorrido de vientos de baja y moderada velocidad procedentes del norte y cuya eficiencia en la remoción de contaminantes resulta insuficiente.

Lo que además se hace preocupante es el nivel de concentración de los contaminantes, los cuales registran valores muy altos con respecto a las ciudades de Europa y Norteamérica. Los promedios superan los referentes internacionales de alerta y se sitúan muy por encima de los niveles que la Organización Mundial de la Salud ha proclamado como los umbrales de precaución para el cuidado de la salud de la población. [13-20]

Otros estudios [21-22] realizados por la Universidad Nacional en asocio con el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, han recogido evidencia en relación con la presencia crítica de otros contaminantes en la atmósfera que recubre a Medellín y a los municipios circunvecinos. Niveles altos de benceno, un disolvente aromático de gran toxicidad, se pueden detectar en zonas de alto tráfico vehicular procedente de

la combustión de la gasolina. Asimismo se viene registrando una acidificación creciente de las lluvias en Medellín, asociadas a la combustión de carbón y derivados del petróleo en los procesos industriales y de transporte, lo cual genera irritación de las cubiertas orgánicas de la piel, los ojos, la garganta y las fosas nasales de los habitantes de la ciudad, aparte de la erosión y el deterioro corrosivo que se va produciendo en las edificaciones.

También se ha estudiado en la zona la alta concentración de las partículas finas (PM 2.5) y respirables (PM 10), las cuales han sido involucradas como responsables directas de los efectos en salud dada su gran capacidad para penetrar en las vías respiratorias hasta las estructuras más íntimas de la pared alveolar en el pulmón y aún en el torrente sanguíneo. [23-25]

La ciudad de Medellín y su área metropolitana definitivamente presentan un problema grave de acumulación de material particulado y otros contaminantes en la atmósfera, el cual se está haciendo progresivamente más crítico y sin duda, ha de estar representando un alto costo en efectos nocivos para la salud de sus habitantes.

5. CONCLUSIONES

En relación con *partículas en suspensión total (PST)*, el nivel de contaminación está aumentando en los últimos años y los niveles superan los 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, muy por encima de los niveles de precaución para la salud definidos por la Organización Mundial de la Salud – OMS (35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Si consideramos el *material particulado respirable (PM_{10})* el diagnóstico se confirma en su tendencia ascendente y en sus niveles muy altos (70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) con respecto al umbral de precaución fijado por la OMS (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) para niveles de exposición crónica.

Los *Óxidos de Nitrógeno (NO_x)* también van en aumento en los últimos 3 años y sus niveles (45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ya superan los niveles de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ definidos para la protección de la salud.

Los *Óxidos de Azufre (SO_x)* se mantienen en una tendencia estable o levemente en ascenso, justo

al límite por debajo de los niveles de precaución ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En estos bajos niveles la confiabilidad y precisión de los instrumentos habituales de medición no es muy satisfactoria.

El *Monóxido de Carbono (CO)* dada su rápida difusión en la atmósfera muestra variaciones amplias de un momento a otro en dependencia de los vientos. En los últimos años los datos excursionan en forma fluctuante alrededor de los 2-5 ppm y ocasionalmente superan el umbral de advertencia sanitaria (9 ppm) en sitios congestionados y poco ventilados.

El *Ozono* muestra tendencia a disminuir y se sitúa bien por debajo de los límites de seguridad (50 ppb) fijados por las agencias de protección ambiental y por la OMS, sin embargo, la ocurrencia de episodios críticos en sitios congestionados del área urbana implica riesgo para las personas expuestas.

La contaminación del aire por material particulado en Medellín y su área metropolitana es alta, lo cual debe estar generando consecuencias indeseables en la salud de sus habitantes. Para otros contaminantes primarios y secundarios las concentraciones son relativamente más bajas aunque también implican un riesgo para la salud de las personas que viven o trabajan en sitios de alta densidad vehicular e industrial.

El material particulado es el contaminante atmosférico que plantea un mayor riesgo para la

salud de los habitantes de Medellín y su área metropolitana, no solamente por su reconocida capacidad para generar enfermedades cardiorrespiratorias, sino también por su tendencia al ascenso y por las altas concentraciones que se alcanzan en un valle geográfico estrecho y poco ventilado.

La estructuración de un programa eficiente, oportuno, completo, práctico, continuo y funcional de vigilancia epidemiológica en calidad de aire y sus efectos nocivos en la población es un imperativo para Medellín y toda su área metropolitana.

RECONOCIMIENTOS

El presente estudio se hizo gracias al soporte logístico y financiero suministrado por El Área Metropolitana del Valle de Aburrá, la Universidad de Antioquia, y las alcaldías de Medellín e Itagüí a través del convenio interadministrativo 477/05 suscrito entre dichas entidades

REFERENCIAS

- [1] PRO-ANTIOQUIA, Cámara de Comercio de Medellín, El Colombiano, EAFIT, El Tiempo, Fundación Corona. *Medellín: Cómo Vamos*. Análisis de la evolución de la calidad de vida en Medellín. 2007.
- [2] ENKERLIN E., CANO G., GARZA R., VOGEL E. Ciencia ambiental y desarrollo sostenible. México: Internacional Thomson. 1997. 690.
- [3] NEVERS N. Ingeniería de control de la contaminación del aire. México: Mc Graw- Hill Interamericana 1998.
- [4] PINEDA L, ÁVILA L. Análisis sobre los aspectos ambientales del Valle de Aburrá. Planeación Metropolitana 1992; 6: 131-158.
- [5] UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Red de Monitoría de la calidad del aire en el valle de Aburrá. Carmen Elena Zapata et al. Boletines de Redaire 2006-08. Medellín.
- [6] UPB, 2005. Contrato 158 de 2005. Índice de Calidad del Aire, Aplicación para la Red de Monitoreo de Calidad del Aire. Universidad Pontificia Bolivariana - Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2005.
- [7] ACGIH. TLVs and BELs, threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Cincinnati: 2005.

- [8] ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry; [Sitio en Internet]. http://www.atsdr.cdc.gov/es/es_index.html 2002. Feb 2006.
- [9] OMS. Organización Mundial de la Salud. Las directrices sobre la calidad del aire en la protección de la salud pública: actualización mundial, Oct de 2006. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/print.html>.
- [10] RADIAN INTERNACIONAL LLC. Manuales del programa inventarios de emisiones de México. Desarrollo de inventarios de emisiones de fuentes de área. México: 1997; 3.
- [11] WHO AIR QUALITY GUIDELINES GLOBAL UPDATE 2005. Bonn, Germany. <http://www.euro.who.int/Document/E87950.pdf>.
- [12] SARMIENTO I. Congestión vehicular en Medellín. Foro de El Colombiano, Mayo 12 de 2006. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín.
- [13] BROMBERGA P, KORENB H. Ozone-induced human respiratory dysfunction and disease. *Toxicol Lett* 82/83 (1995) 307 – 316.
- [14] CONTRALORÍA GENERAL MEDELLÍN. “La Contaminación está Afectando la Salud de la Población”. El Reto, el Medio del Medio Ambiente. Medellín 2005; 57: 19 - 23.
- [15] DELLA C, LÓPEZ-SILVA J. Vulnerability to air pollution in Latin America and the Caribbean Region. Sustainable development working paper N° 28. September 2006.
- [16] KORC M. Gestión de la calidad del aire. Calidad del aire y su impacto en la Salud en América Latina y el Caribe CEPAL. Serie de seminarios y conferencias. 2001 (9): 15-32.
- [17] OPS, Organización Panamericana de la Salud. Evaluación de los efectos de la contaminación del aire en la salud de América Latina y el Caribe. Washington DC; O.P.S. 2005.
- [18] POPE II, CA Y DOCKERY. DW 2006. Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that connect. *Journal of the Air and Waste Management Association* (56):709-742.
- [19] POPE LL CA, BUERNETT R, THUN M, et al. Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution. *JAMA* 2002; 287(9):1132-1141.
- [20] POPE LL CA. Health Effects of Particulate Air Pollution: Time for Reassessment? *Environmental Health Perspectives*. 1995; 103:472-480.
- [21] ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín Zapata CE, Londoño G. et al. Fortalecimiento de la Red de Monitoreo de la calidad del aire con medidores pasivos. Medellín 2007.
- [22] UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - SEDE MEDELLÍN, Universidad Pontificia Bolivariana. Red de Monitoreo para la calidad del aire en el Valle de Aburrá. Zapata CE, Toro MV, et al. Medellín 2005- 08.
- [23] SALDARRIAGA, JC. ECHEVERRI CA, MOLINA FJ. Partículas suspendidas (PST) y partículas respirables (PM10) en el Valle de Aburrá, Colombia. *Rev Fac de Ingeniería U de Antioquia*. Medellín. 2004 (32):7-16.
- [24] UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN, Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Echeverri CA, Maya GJ et al. Contaminación atmosférica y efectos en la salud de niños escolares. Medellín. 2008.
- [25] UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA – SEDE MEDELLÍN. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Zapata CE et al. Monitoreo de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá. Informe 2008.