CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Y EFECTOS SOBRE LA SALUD DE LA POBLACIÓN

Medellín y su área metropolitana

Documento 1
Estado del arte

Documento 2
Diagnóstico ambiental

Documento 3
Efectos en la salud

Documento 4
Vigilancia epidemiológica

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
1803

Alcaldía de Medellín **Alcaldía de Ituaguí**

Área METROPOLITANA del Valle de Aburrá

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Y EFECTOS SOBRE LA SALUD DE LA POBLACIÓN

Medellín y su área metropolitana

Estado del Arte

Documento 1 de 4

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
1803

Alcaldía de Medellín

Alcaldía de Itagüí

Área METROPOLITANA del Valle de Aburrá

Estado del Arte sobre los estudios de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá

Fernando Daniels
Elkin Martínez López
Rigoberto Quinchía
Olga Cecilia Morales
Alexander Romero
Ana Milena Marín
María Patricia Arbeláez

Centro de Investigaciones
Facultad Nacional de Salud Pública
Universidad de Antioquia
Medellín. Colombia
2007

CONTENIDO

1. Inventario de iniciativas y actores implicados en el estudio de la calidad del aire en el Valle de Aburrá…….. 7

1.1 Resumen
1.2 Una breve mirada histórica
1.3 Experticia institucional
1.4 Instituciones vinculadas
1.5 Fortalezas, debilidades y oportunidades

2. Recursos y Personas consultadas sobre el estudio de la calidad del aire en el Valle de Aburrá…….. 21

2.1 Recursos
2.2 Personas

3. Estudios revisados sobre calidad del aire en el Valle del Aburrá……. 25

4. Fichas técnicas de los estudios revisados sobre calidad del aire en el Valle de Aburrá……. 31

- Realización de contra-muestreos isocinéticos en fuentes fijas
- Caracterización de las Emisiones de Calderas a Carbón
- Caracterización de Combustibles para Verificar su Calidad".
- Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas con Georeferenciación
- Identificación de Episodios de Contaminación Atmosférica
- Grupo Fuentes Móviles y Proyecto de Monitoreo, Control y Protección
- Control y seguimiento de las fuentes móviles y de los diagnosticentros
- La Calidad del Aire es Cuestión de Todos
- Identificación de Alternativas para el Análisis de Contaminantes Ambientales
- Evaluar los Niveles de Contaminación del Aire
- Formación de Contaminantes Fotoquímicos
- Partículas suspendidas (PST) y partículas respirables (PM10)

- Evaluación de la calidad del aire en la cuenca de la quebrada Altavista
- Diseño red de monitoreo calidad del aire Envigado
- Sistema de Información Metropolitano de la Calidad del Aire
- Aplicación del modelo RAMS
- Concentración de monóxido de carbono e intensidad de ruido
- Efectos sobre la salud de la contaminación por ruido y monóxido de carbono
- Modelo de emisiones atmosféricas para el Valle de Aburrá MODEMED
- Evaluación del Material Particulado en Suspensión en el Valle de Aburrá
- Evaluación calidad del aire, intensidad de ruido y efectos en 25 sitios
- Evaluación de PST y PM10 en Guayabal
- Evaluación de la Calidad del Aire en Zonas Rurales del Valle de Aburrá
- Diagnóstico Ambiental Municipio de Girardota. Capítulo: Recurso Atmosférico
- Correlación entre fuentes de PST y contaminación en dos zonas de estudio
- Cálculo preliminar de factores de emisión por tráfico vehicular en Medellín
- Actualización y optimización de MODEMED
- Patologías respiratorias en preescolares y contaminación atmosférica.
- Línea base calidad del aire en 10 municipios de la jurisdicción de Corantioquia
- Línea base calidad del aire en 15 municipios de la jurisdicción de Corantioquia.
- Alternativas para la Planificación Energética. Industria y Transporte AMVA
- Plan de Mercadeo Programas de Fuentes Móviles
- Programa protección y control calidad del aire en el valle de aburrá
- Evaluar los niveles de contaminación en las zonas urbanas del AMVA
- Reducción de emisiones por las nuevas normas de transito en Medellín
- Factibilidad de aplicación índice PSI para evaluar calidad del aire en el AMVA
- Propuesta modelo matemático: Estimación de emisión de PST en Itagüí

5. Revisión bibliográfica sobre calidad del aire y efectos en la salud…… 157

5.1 Revistas
5.2 Sitios de Internet
5.3 Libros
5.4 Indicadores
5.5 Anuarios estadísticos metropolitanos
5.6 Anuarios estadísticos de Antioquia
5.7 Documentos de apoyo

inventario

1. Estado de situación de iniciativas y actores implicados en el estudio de la calidad del aire en el Valle de Aburrá

1.1 Resumen

En los últimos años se ha desarrollado en el Valle de Aburrá una buena experticia para el análisis de los problemas relacionados con la contaminación del aire fruto de los esfuerzos de monitoreo que se iniciaron desde finales de los años 70`s. Dicha experticia está centrada en la capacidad técnica para el diagnóstico y evaluación ambiental, con un escaso desarrollo en cuanto a la evaluación de los impactos en salud y de los impactos económicos y sociales de la contaminación. Las universidades se han posicionado como actores de primera línea para la comprensión de la problemática de la contaminación del aire y se han consolidado alianzas estratégicas entre el sector académico y el sector público par enfrentar dichos problemas. Desde finales de los noventa ha habido un incremento en la investigación para mejorar el conocimiento sobre las condiciones locales que afectan la calidad del aire. La investigación ha estado principalmente orientada a la caracterización de los contaminantes criterio y a la modelización de su comportamiento. Sin embargo, existen todavía campos pocos explorados como los efectos en la salud de la población y el impacto económico y social de la contaminación del aire. Existe igualmente un gran vacío en cuanto a las iniciativas de educación ambiental sobre esta problemática. Por otro lado, la formación sobre contaminación del aire, ofrecida tanto a nivel de pregrado como de postgrado, acusa déficit en cuanto a la articulación, cantidad y calidad de contenidos. En los currículos de ingeniería sanitaria, gestión ambiental y otras disciplinas afines la capacitación impartida se introduce tardíamente en los programas de formación.

El reconocimiento de la amplitud y complejidad del problema crea un espacio favorable para la puesta en común de recursos y para el desarrollo de iniciativas conjuntas que permitan subsanar las deficiencias en conocimiento o en capacidades técnicas que puedan existir al interior de las distintas instituciones implicadas. Por otro lado, se percibe la necesidad de aportar evidencia científica y opciones innovadoras a las innumerables problemáticas que existen, así como favorecer el desarrollo de iniciativas intersectoriales.

La información contenida en este documento se obtuvo de entrevistas con personas recurso implicadas en la planificación e implementación de intervenciones o en el desarrollo de competencias para la gestión de la calidad del aire (anexo 1), así como en una revisión bibliográfica de la producción local sobre el tema (anexo 2).

1.2 Una breve mirada histórica:

Las preocupaciones sobre la calidad del aire en el Valle de Aburrá iniciaron en los años 1970 con motivo del surgimiento de conflictos ambientales con ciertas empresas como el caso de la compañía Sulfácidos y con el estimulo propiciado por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) quien donó equipos de medición a través de la Red Panamericana de Muestreo. La responsabilidad del control de la calidad del aire estuvo inicialmente a cargo de la Secretaría de Salud y Bienestar Social del Municipio de Medellín, la cual inició mediciones de la calidad del aire en 1975 con cinco estaciones ubicadas en Guayabal, Salvador, Belencito, Centro y Pedregal, que muestreaban diariamente entre semana. Se media material particulado grueso por reflectometría, sedimentación en baldes, opacidad, corrosividad en discos metálicos y titulación química de SO_2 y NO_x. Asimismo se iniciaron los muestreos en chimeneas para la evaluación de emisiones. Posteriormente se incorporaron seis muestreadores de alto volumen, cuatro medidores de gases, un medidor automático de SO_2, un medidor de CO y medidores de ruido (sonómetro, dosímetro y analizador de frecuencias). Para ello se realizaban rotaciones trimestrales de equipos y se llevaban a cabo muestreos de emisiones y estudios en la calle. A finales de los 80s se realizaron inversiones conjuntas para la compra de equipos entre la Secretaría de Salud de Medellín y el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid.

En 1979 se publicó el Código Sanitario Nacional y se creó la Comisión para la Reglamentación de la Ley Sanitaria (CORELS), la cual se caracterizó por su enfoque interdisciplinario e intersectorial. Mediante el Decreto 2 de 1982 se estableció la reglamentación de la calidad del aire en el país, la cual fue una pieza fundamental de control durante 25 años. Es importante resaltar que dicho decreto solamente reglamentó las fuentes fijas de emisión pero no abordó el sector transporte, lo cual puede explicar el rezago que se ha tenido en el control de fuentes móviles.

La Constitución de 1991 confirió a la Contraloría poderes para hacer el inventario de los recursos naturales de la nación, que se plasman en un informe anual presentado por esta entidad, en el cual tradicionalmente ha habido un capítulo consagrado a la calidad del aire en las ciudades.

En 1993 se transfirió la responsabilidad del control ambiental de la Secretaría de Salud a la Autoridad Ambiental. En 1993-1994 se elaboró el Estatuto Metropolitano del Medio Ambiente y se creó el Área Metropolitana como ente de planificación territorial, designándola como autoridad ambiental. La transición en el control de la calidad del aire tuvo algunas dificultades entre las cuales cabe destacar:

a) Pérdida de la experticia desarrollada por el recurso humano. Durante el

traspaso de responsabilidades, muchas de las personas que habían trabajado durante años en el control de la calidad del aire en la Secretaría de Salud no fueron incorporados en la nueva institución.

b) Pérdida en la capacidad operativa institucional para valorar y monitorear los contaminantes del aire. La Secretaría de Salud logró desarrollar infraestructura para el muestreo, recolección y análisis de la información. La nueva autoridad favoreció otro enfoque basado en la contratación de estudios, lo cual limitó en cierto modo el desarrollo progresivo que había venido experimentando la institución encargada del control ambiental.

c) Pérdida de la coordinación interinstitucional que se venía gestando con la participación directa de diferentes sectores (salud, ambiente, universidades, etc.) en la elaboración e implementación de estrategias para mejorar la calidad del aire en la región.

Con respecto a la capacidad institucional para la valoración y monitoreo de contaminantes atmosféricos es importante resaltar que el Área Metropolitana y Corantioquia llevaron a cabo un estudio de factibilidad en 1999 con el fin de establecer cuál sería la alternativa más viable y pertinente, desde el punto de vista técnico, financiero y de sostenibilidad para valorar y monitorear regularmente los recursos agua, aire y suelo, ya sea a partir de laboratorios propios de la autoridad ambiental o contratando estos servicios con los existentes en la región, principalmente en las universidades. El estudio concluyó que la mejor alternativa para realizar el análisis de contaminantes ambientales en el Área Metropolitana, es la contratación con empresa o institución, como la Universidad, de las etapas de muestreo, análisis e interpretación de los resultados de laboratorio, ya sea en forma conjunta o individual[1].

1.3 Experticia institucional:

En el Valle de Aburrá la experticia en el estudio y seguimiento de la calidad del aire reposa en gran medida en las instituciones de educación superior. Dicha proceso se inició en 1974 con la creación del Centro de Investigación par el Desarrollo Integrado (CIDI) de la Pontificia Universidad Bolivariana, en el cual se montó el primer laboratorio de contaminación del aire. La participación y el aporte del sector académico se consolidó posteriormente con la creación en 1992 del consorcio de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá, en el cual se conjugan los esfuerzos y recursos financieros de la autoridad ambiental, el suministro de equipos de la antigua Red de Monitoreo del Aire, y la capacidad

[1] Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Corantioquia, Ingeambiente y Sanear (1999). "Identificación de Alternativas para el Análisis de Contaminantes Ambientales en el Valle de Aburrá" (Contrato No 240/1999).

técnica e investigativa de varias universidades del Área Metropolitana. La Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá es un grupo de investigación acreditado ante Conciencias que desarrolla proyectos de investigación relacionados con la calidad del aire y opera la red de monitoría de calidad del aire urbano en el Valle de Aburrá con 21 estaciones de medición que cubren toda la región.

La Red de Vigilancia de Calidad del Aire inició sus actividades de monitoria de la calidad del aire en el Valle de Aburrá y el Oriente cercano en 1993, dando inicio así a un proceso de estandarización de los métodos de medición de los contaminantes atmosféricos. Con el apoyo económico del Área Metropolitana, se ha consolidado esta red de monitoria con énfasis en la utilización de los métodos manuales aceptados por la *Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA)* y con una extensa labor de formación del personal técnico apropiado para asegurar la calidad de la monitoría de contaminantes.

Las universidades que participan en la Red de Vigilancia de la Calidad del aire son la Universidad de Antioquia, Universidad de Medellín, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Universidad Pontificia Bolivariana y Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, instituciones que cuentan con trayectoria en el estudio de la contaminación atmosférica y la calidad del aire.

1.4 Principales Instituciones vinculadas con el monitoreo y control de la calidad del aire en el Valle de Aburrá

El **Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Área Metropolitana)** es el principal organismo promotor y financiador de estudios e iniciativas para el monitoreo y control de la calidad del aire en el Valle de Aburrá. Sus acciones se realizan a través de la Subdirección Ambiental y más específicamente a través de la línea estratégica de gestión del recurso aire.

Desde su creación en 1980 y su posterior constitución como autoridad ambiental, el Área Metropolitana ha venido financiando estudios para la comprensión del fenómeno de la contaminación del aire en el valle de Aburrá e iniciativas para mejorar el monitoreo y control de contaminantes. Dentro de los principales logros e iniciativas cabe mencionar:

- La puesta en marcha de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire, la cual se apoya en la cooperación científica y tecnológica con instituciones de educación superior y organismos especializados para el estudio y seguimiento de la calidad del aire.

- La puesta en marcha del Sistema de Información Metropolitano de la Calidad

del Aire (SIMECA) que consiste en un modelo de simulación para el pronóstico meteorológico y para la dispersión de contaminantes atmosféricos. Los resultados son guardados en bases de datos que los usuarios pueden consultar mediante una interfase Internet. SIMECA constituye una herramienta útil para la toma de decisiones sobre normatividad de emisiones para zonas afectadas por la contaminación, organización del territorio y definición de políticas y normas ambientales.

- El estudio del inventario de emisiones del Valle de Aburrá con Georreferenciación, actualizado en abril de 2007 tanto para fuentes fijas como para fuentes móviles. Este estudio permitió determinar que el monóxido de carbono (CO) es el contaminante más emitido a la atmósfera, representando más del doble de las cantidades obtenidas con relación a los otros contaminantes, seguido por los COV's y NOx. Las zonas más afectadas son el centro de la ciudad de Medellín, seguida de la región centro-oriental.

- El estudio sobre la caracterización de combustibles líquidos y sólidos en las estaciones de servicio de la ciudad, sitios de distribución y comerciales de Medellín, el cual incluyó el desarrollo de una "Guía Metodológica para la Caracterización y Evaluación de la Calidad de Combustibles en el Valle del Aburrá". Este estudio muestra que la gasolina extra y corriente posee un elevado contenido de gomas que produce depósitos en los vehículos que pueden ser dañinos para los vehículos y el medio ambiente. Asimismo, los combustibles industriales líquidos registran altos contenidos de agua, cenizas y bajo poder calorífico, lo cual puede originar daños en las calderas y una combustión ineficiente, produciendo una mayor emisión de sustancias contaminantes en las fuentes fijas.

- La Elaboración de Mapas Acústicos y de concentraciones de monóxido de carbono para el Valle de Aburrá, los cuales hacen parte del Plan Integral de Desarrollo Metropolitano del Valle de Aburrá.

- El fomento al Debate Metropolitano sobre el control, monitoreo y protección de la calidad del aire en el Valle de Aburrá.

- El impulso a la implementación de un Pacto Metropolitano por la Calidad del Aire, con la participación de todos los sectores implicados en la emisión de contaminantes, y en la regulación, control y formulación de políticas públicas para mejorar la calidad del aire.

- La reglamentación para el sistema de "Cupos Transferibles de Emisión para el Control de la Contaminación Atmosférica", la cual busca implementar medidas que permitan disminuir las concentraciones de contaminantes en zonas críticas y que controlen los niveles de concentración de contaminantes.

Varios de los principales estudios financiados o cofinanciados por el Área Metropolitana se encuentran en las fichas técnicas que hacen parte del repertorio de estudios sobre calidad del aire que figura en anexo de este documento.

La **Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín** tiene diferentes grupos de investigación que trabajan sobre la temática, como la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá, el *Centro del Carbón* y el Grupo de Análisis y Modelamiento Energía-Ambiente-Economía. La Universidad administra los equipos de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire y tiene un laboratorio especializado en monitoria del aire con medidores de alto volumen, analizadores de tamaño de partículas, analizadores de stress térmico, monoxoles, medidores de ruido, etc. A nivel de la formación las actividades de capacitación se ofrecen principalmente a través del Postgrado en Gestión y Medio Ambiente. Desde 1980 la Universidad incorporó un curso sobre ingeniería ambiental, con un fuerte componente de aire, para todas las carreras de ingeniería. Entre los proyectos que adelanta actualmente la Universidad Nacional –Sede Medellín cabe mencionar la operación de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire, estudios de ruido, desarrollo de mapas ambientales y el desarrollo de modelos como Markal (modelo econométrico de energía). La cartera de proyectos de la Universidad en este campo supera los 1.000 $M.

La **Universidad de Antioquia** lleva trabajando poco más de 20 años en el tema de la contaminación atmosférica y calidad del aire, inicialmente a través del *Centro de Investigaciones Ambientales (CIA)* y del *Grupo de Investigación en Gestión ambiental (GIGA),* el cual fue uno de los primeros en empezar a hacer mediciones ambientales. Posteriormente se incorporaron otros grupos de investigación como el *Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental (GAIA)* que reúne alrededor de 13 docentes del área de la ingeniería sanitaria, trabajando en temas como el control de emisiones, la modelación atmosférica, los modelos fuente-receptor, la elaboración de mapas acústicos, y ofreciendo una amplia gama de servicios a empresas privadas y entidades públicas. Igualmente están los grupos de investigación de la *Facultad Nacional de Salud Pública (FNSP)* que realizan estudios en contaminación del aire en áreas de salud ocupacional y epidemiología, el *Grupo de Energías Alternativas*, el *Grupo de Desarrollo Sostenible* que ha realizado trabajos de modelación del aire y la *Corporación Educativa Ambiental* que representa a la Universidad en la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá. Esta multiplicidad de grupos de investigación interesados en la problemática de la contaminación del aire ha permitido que la Universidad de Antioquia se consolide como una de las pioneras con un amplio espectro de estudio e intervención en este campo.

A nivel de los programas de ingeniería se ofrece un curso de contaminación atmosférica en el último semestre del pregrado de ingeniería sanitaria, lo cual parece ser una limitante por cuanto se introduce muy tardíamente en el pénsum y no facilita que los estudiantes adopten ésta temática como tema de investigación.

La formación se realiza igualmente a través del pregrado en gestión sanitaria y ambiental de la FNSP. Por otro lado, a través de la Corporación Educativa Ambiental, se han realizado conjuntamente con la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá dos diplomados sobre calidad del aire y se dirige una tesis sobre el Sistema Metropolitano en Aire.

La **Universidad de Medellín** ha adelantado sus acciones a través del programa en Ingeniería Ambiental que funciona desde 1980, particularmente a través del *Grupo de Estudio y Mediciones Ambientales (GEMA),* creado en 1998. Este grupo desarrolla líneas de investigación en calidad del aire, emisiones atmosféricas, modelos de dispersión y recientemente en el área de epidemiología y valoración económica de la contaminación atmosférica. La Universidad de Medellín cuenta con uno de los más completos laboratorios para la evaluación de contaminantes exteriores e interiores, incluyendo equipos para la medición de ruido, medidores de alto volumen, PM_{10} y $PM_{2,5}$. El laboratorio se encuentra en proceso de acreditación ante el IDEAM. Por otro lado, la Universidad de Medellín en consorcio con la Corporación para Estudios en Salud (CES**)** adelantan actualmente un estudio epidemiológico sobre los efectos de la contaminación atmosférica en la patología respiratoria en preescolares y un estudio CAP (Conocimientos, Actitudes y Prácticas) y de diagnóstico de ruido en bares y discotecas del Valle de Aburrá. Asimismo, la Universidad adelanta estudios para el montaje de la red de ruido para el Valle de Aburrá. La cartera de proyectos de la Universidad de Medellín en este campo oscila alrededor de los 500 $M.

La **Pontificia Universidad Bolivariana** trabaja en el tema desde 1974 con la creación del *Centro de Investigaciones para el Desarrollo Integrado (CIDI)*, al cual se agregó posteriormente el *Grupo de Investigación Ambiental (GIA).* Su campo de acción se concentra en la modelación, el pronóstico ambiental y de reacciones químicas, inventario de emisiones y monitoreo de la calidad del aire y de emisiones. Recientemente la Universidad está incursionando en los estudios epidemiológicos (San Germán y Guayabal) y en el estudio de olores. El laboratorio de la Universidad Bolivariana tiene certificación ISO 9001 del ICONTEC y es el único laboratorio de aire en el Valle de Aburrá acreditado por el IDEAM. Este laboratorio tiene equipos para el tren de monitoreo de emisiones, PM_{10}, PST, gases y una estación automática completa.

A nivel de la formación, la universidad ofrece tres sesiones de formación sobre aire (diagnóstico, control y modelación) en los programas de maestría y especialización en ingeniería ambiental y especialización en gestión ambiental. Desde el 2003, la UPB ha realizado cinco publicaciones sobre aire, de las cuales dos en revistas internacionales y ha desarrollado numerosos contratos de investigación. Actualmente la Universidad tiene proyectos sobre monitoreo de emisiones, monitoreo de la calidad del aire, modelación del pronóstico fotoquímico y el desarrollo de la metodología para el monitoreo de olores. La cartera de proyectos de aire en la UPB es de alrededor 1.000 $M.

El **Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid** viene trabajando en el tema desde inicio de los años 1980. Su accionar se ha centrado en la estandarización de los procedimientos de medición de la calidad del aire, lo cuales han sido adoptados por la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá, en la elaboración de mapas de ruido y el desarrollo de modelos fuente-receptor. Asimismo, el Politécnico opera la estación de monitoría de la calidad del aire que mayor continuidad ha tenido en la red.

La **Corporación para Estudios en Salud (CES)** ha sido la última institución de educación superior en haber ingresado en el campo de estudio sobre la calidad del aire, a través de su centro de investigación de la Facultad de Medicina. En virtud de un convenio con la Universidad de Medellín estas dos instituciones adelantan desde el 2006 un estudio sobre patología respiratoria asociada a la contaminación del aire en niños en edad preescolar, proyecto financiado por la Secretaria de Medio Ambiente y en el diagnóstico de ruido en bares y discotecas del Valle de Aburrá. El CES tiene una especialización en salud ocupacional y recientemente lanzaron un diplomado en epidemiología ambiental, único programa de este tipo en el Valle de Aburrá.

Sin embargo, a pesar de las capacidades técnicas e investigativas desarrolladas por estas universidades, la formación sobre contaminación del aire presenta un importante déficit, el cual puede explicarse por las siguientes razones:

- Falta una mayor integración en los contenidos sobre calidad del aire ofrecidos en los diferentes programas que abordan el tema (ingeniería sanitaria, gestión ambiental y afines). Falta igualmente integración y complementariedad entre estos programas.

- La capacitación ofrecida se concentra en las acciones de evaluación de la contaminación del aire pero no en las de control.

- Los cursos sobre calidad del aire se ofrecen tardíamente tanto en los programas de pregrado como de postgrado. Esto dificultad que los estudiantes adopten las problemáticas de la contaminación del aire como temas de investigación.

- Ninguna universidad por sí sola tiene los recursos suficientes para desarrollar una línea de formación en aire. Se necesita consolidar alianzas estratégicas y promover el trabajo en consorcio.

- En las universidades existe una escasa transformación tecnológica e innovación en este campo.

1.5 Fortalezas, Debilidades, Oportunidades:

En materia del estudio de la contaminación atmosférica se puede apreciar que ha habido un desarrollo progresivo de la experticia y capacidad técnica y operativa de las instituciones de educación superior vinculadas con el tema, así como una alianza estratégica entre el sector académico y el sector público. Las universidades cuentan generalmente con laboratorios bien equipados para la realización de mediciones y análisis y se han hecho esfuerzos importantes para mejorar las competencias y habilidades para el diagnóstico y evaluación de los problemas de contaminación del aire por parte de los egresados de las carreras de ingeniería sanitaria, gestión ambiental y disciplinas afines. Sin embargo, la formación sobre control de la contaminación del aire es deficiente.

Las acciones de los grupos de investigación se centran principalmente en el diagnóstico y evaluación de la situación ambiental, particularmente en la medición de contaminantes (partículas suspendidas, gases, ruido y otras sustancias) y en el desarrollo de modelos de diagnóstico. Recientemente varios grupos de investigación han incursionado en el desarrollo de estudios epidemiológicos y en la búsqueda de correlaciones entre contaminación del aire y enfermedad. Sin embargo, en las universidades no se observa un desarrollo significativo en el estudio de los efectos de la contaminación del aire en la salud de la población, en la evaluación del impacto económico y social de la contaminación del aire ni en acciones de educación ambiental para favorecer la calidad del aire.

Las Corporaciones Regionales también han realizado estudios sobre la calidad del aire en sus áreas de jurisdicción en virtud del mandato que les otorga la ley en cuanto a la protección de los recursos naturales.

CORANTIOQUIA (Corporación Regional Autónoma del Centro de Antioquia) inició sus acciones en este campo en 2001, primero en el marco de su línea de acción de “Atención a Quejas”. La Corporación cubre un vasto territorio mayoritariamente rural, con responsabilidad sobre 80 municipios que presentan grandes diferencias geográficas y sociodemográficas. Las acciones de monitoreo de la calidad del aire en su jurisdicción comenzaron en 2002 bajo la coordinación de la Unidad de Calidad Ambiental de la Subdirección de Recursos Naturales. Desde 2007 la Corporación estableció una unidad responsable de la Calidad del Aire, la cual dispone de 3 personas (1 de planta y 2 contratistas) y de un laboratorio de calidad del aire donde se pueden efectuar principalmente mediciones de material particulado.

La Corporación realiza acciones de acompañamiento, control y vigilancia de la calidad del aire. La selección de los lugares donde se ha realizado monitoreos (36 sitios) se ha basado en tres criterios: densidad poblacional, corredores viales y corredores industriales. Estos sitios han sido utilizados para los tres estudios realizados por CORANTIOQUIA hasta el momento:

- Línea Base 1 (2003-2004): se monitoreó en 10 sitios durante 15 días (PM_{10}, PST, NO_x y meteorología). En este estudio se utilizó por primera vez métodos pasivos para medir O_3, NO_2 SO_2.

- Línea Base 2 (2005): se monitoreó en 15 sitios diferentes.

- Periferia AMVA: durante este estudio se monitoreó en 10 sitios periféricos de los municipios del AMVA.

Durante estos estudios se pudo constatar concentraciones elevadas de PM_{10} y O_3 en municipios como Altavista (Belén) y La Sierra (Nare).

En lo que respecta al sector público (secretarias de salud, medio ambiente, tránsito, autoridad ambiental) éste concentra sus actividades en el control y reglamentación de contaminantes. En los últimos años se ha visto un interés y un apoyo creciente para el financiamiento de estudios sobre la contaminación atmosférica. Sin embargo, se observa un limitado desarrollo de la capacidad técnica en las propias instituciones.

Es igualmente importante resaltar el trabajo adelantado por el gremio industrial, el cual ha realizado esfuerzos significativos para el control de emisiones fijas con el fin de responder a la normatividad ambiental vigente. La ANDI puso en marcha un

Comité Ambiental con el fin de desarrollar e implementar la estrategia ambiental de este sector. Los esfuerzos han estado principalmente dirigidos a la instalación de equipos para el control de la calidad del aire y a la capacitación del recurso humano mediante un sistema de calificación/certificación del personal técnico vinculado con el control de la contaminación atmosférica fruto de la actividad industrial.

Por otro lado, es importante mencionar algunas iniciativas de concertación que se han generado como la creación y puesta en marcha de un comité epidemiológico ambiental con una línea de trabajo sobre calidad del aire. Esta iniciativa promovida por el Área Metropolitana busca establecer una mesa de concertación donde converjan autoridades de salud, medio ambiente, tránsito y transporte, municipalidades, universidades, centros de investigación y otros actores implicados en el tema, que permita definir orientaciones, establecer estrategias y poner en marcha iniciativas consensuadas para mejorar la calidad del aire en el Valle de Aburrá. El Comité epidemiológico ambiental incluiría una instancia técnica encargada de la vigilancia epidemiológica ambiental de la calidad del aire.

En lo que concierne a las acciones de educación ambiental sobre la problemática de la contaminación del aire y sus efectos en la salud y en la calidad de vida de las

comunidades se observa una discreta actividad, tanto en el trabajo de sensibilización y educación del público general como de grupos específicos. Vale la pena subrayar que las instituciones de educación superior no llevan a cabo ningún proyecto o iniciativa de educación ambiental sobre la temática de la contaminación del aire.

Las actividades de sensibilización e información del público provienen casi exclusivamente de la autoridad ambiental y se limitan a acciones muy puntuales como algunos afiches, brochures, plegables, etc.

En cuanto a la participación de ONG y de organizaciones de la sociedad civil, no se encontró ninguna organización con línea de trabajo en la prevención de la contaminación atmosférica o la promoción de la calidad del aire.

En los últimos años el tema de la contaminación atmosférica ha cobrado una gran importancia en el Valle de Aburrá para distintos actores que han incrementado su interés y preocupación por este campo (universidades, autoridades, comunidad) y que empiezan a reconocer la amplitud y la complejidad del problema. Esto crea un ambiente favorable para la realización de iniciativas conjuntas que aporten recursos en común y complementen algunos campos en los cuales no se ha desarrollado mayor experticia como el análisis epidemiológico, la evaluación del impacto económico y social de la contaminación del aire y la educación ambiental. Se hace necesario fortalecer a nivel universitario la línea de formación e investigación sobre contaminación y calidad del aire que articule los campos de diagnóstico, control y evaluación y que estimule el desarrollo tecnológico en este campo.

Por otro lado, se percibe la necesidad de aportar evidencia científica y opciones innovadoras a las innumerables problemáticas que existen, así como favorecer el desarrollo de iniciativas intersectoriales. Es fundamental promover una acción concertada para abordar problemáticas complejas como la calidad de combustibles, el desarrollo del transporte público masivo, el control del parque automotor, las normas de construcción para el control de fuentes fugitivas de polvo, el inventario de emisiones y fuentes de contaminación, la implantación de sistemas apropiados de gestión ambiental de la calidad del aire, etc. Los retos son grandes y sobrepasan las capacidades individuales de los diferentes sectores implicados.

personas y recursos

2. Recursos y personas disponibles para el estudio de la calidad del aire en el Valle de Aburrá

2.1 Recursos

Universidades	Programas de formación y Grupos de investigación en calidad del aire	Laboratorio & Equipos	Cartera de Proyectos ($M)	Cartera de Proyectos ($M)
Universidad Nacional - Seccional Medellín	• Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá • Centro del Carbón • Postgrado en Gestión y Medio Ambiente	Laboratorio especializado en monitoria del aire con medidores de alto volumen, analizadores tamaño de partículas, analizadores de stress térmico, monoxoles, medidores de ruido, etc.	1.000 $M	Operación de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire, estudios de ruido, desarrollo de mapas ambientales, desarrollo de modelos (ej. Markal: modelo econométrico de energía)
Universidad de Antioquia	• Grupo GIGA • Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental (GAIA) • Grupo de Desarrollo Sostenible • Grupo de Energías Alternativas. • Facultad Nacional de Salud Pública	Control de emisiones, la modelación atmosférica, los modelos fuente-receptor, la elaboración de mapas acústicos, y ofreciendo una amplia gama de servicios a empresas privadas y entidades públicas		
Pontificia Universidad Bolivariana	• Grupo de Investigación Ambiental (GIA) – desde 1974 • Modelación, pronóstico ambiental y de reacciones químicas, inventario de emisiones y monitoreo de la calidad del aire y de emisiones. Recientemente la Universidad está incursionando en los estudios epidemiológicos y en el estudio de olores.	Tren de monitoreo de emisiones, PM10, PST, gases y una estación automática completa (único laboratorio de aire en el Valle de Aburrá acreditado por el IDEAM)	1.000 $M	monitoreo de emisiones, monitoreo de la calidad del aire, modelación del pronóstico fotoquímico y el desarrollo de la metodología para el monitoreo de olores
Universidad de Medellín	• Programa en Ingeniería Ambiental • Grupo de Estudio y Mediciones Ambientales (GEMA) - 1998	Medición de contaminantes exteriores e interiores, ruido, medidores de alto volumen, PM10 y PM2,5. El laboratorio se	500 $M.	Efectos de la contaminación atmosférica en la patología respiratoria en preescolares,

Universidades	Programas de formación y Grupos de investigación en calidad del aire	Laboratorio & Equipos	Cartera de Proyectos ($M)	Cartera de Proyectos ($M)
	• Calidad del aire, emisiones atmosféricas, modelos de dispersión y recientemente en estudios epidemiológicos y valoración económica de la contaminación atmosférica.	encuentra en proceso de acreditación.		diagnóstico de ruido en bares y discotecas del Valle de Aburrá, montaje de la red de ruido para el Valle de Aburrá
Politécnico Jaime Isaza Cadavid	• Estandarización de los procedimientos de medición de la calidad del aire, • Elaboración de mapas de ruido • Desarrollo de modelos fuente-receptor	Laboratorio especializado en monitoria del aire con medidores de alto volumen, analizadores tamaño de partículas, medidores de ruido, etc.		
CES	▪ Diplomado en salud ocupacional ▪ Diplomado en epidemiología ambiental	No tiene laboratorio de aire		Efectos de la contaminación atmosférica en la patología respiratoria en preescolares, diagnóstico de ruido en bares y discotecas del Valle de Aburrá,

2.2 Personas entrevistadas

Julián Bedoya Velásquez, Universidad Nacional de Colombia – sede Medellín.

María Victoria Toro, Pontificia Universidad Bolivariana.

Carlos Alberto Zárate Yepes, Universidad de Antioquia.

Mauricio Correa, Universidad de Antioquia.

Carlos Echeverry, Universidad de Medellín.

Germán Amaya, Universidad de Medellín.

Miriam Gómez, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid.

Rigoberto Quinchía, Universidad de Antioquia.

Patricia Ossa, Calidad del Aire, Subdirección Recursos Naturales, CORANTIOQUIA.

Jaime Eduardo Ordoñez Molina. Facultad de Medicina – CES.

estudios

3. Estudios revisados sobre calidad del aire

1) Área Metropolitana del Valle de Aburrá – Universidad Pontificia Bolivariana (2001). ***"Realización de contra-muestreos isocinéticos en fuentes fijas (chimeneas) como acción de vigilancia y control en algunas empresas del Valle de Aburra"*** (Contrato 1005 de 2001).

2) Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2005). ***"Caracterización de las Emisiones de Calderas a Carbón del Valle de Aburrá: Determinación de Factores de Emisión"*** (Convenio 327/2005).

3) Área Metropolitana del Valle de Aburrá – Universidad Nacional de Colombia (Facultad de Minas) Sede Medellín (2005). ***"Caracterización de Combustibles en Sitios de Distribución, Establecimientos Comerciales, Industriales y Servicios para Verificar su Calidad".*** (Contrato Inter-administrativo No 162/2005).

4) Área Metropolitana del Valle de Aburrá – Universidad Pontificia Bolivariana (2005). ***"Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas en el Valle de Aburrá - con Georeferenciación de éstas"*** (Convenio 323/2005).

5) Área Metropolitana del Valle de Aburrá – Universidad Pontificia Bolivariana (2002). ***"Identificación de Episodios de Contaminación Atmosférica en el Valle de Aburrá"*** (Contrato 1787 de 2002).

6) Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2003). ***"Apoyo en Ingeniería Mecánica al Grupo de Fuentes Móviles y del Proyecto de Monitoreo, Control y Protección de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá".*** (Contrato 1254 de 2003).

7) Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2002). ***"Realizar el control y seguimiento de las fuentes móviles y de los diagnosticentros aprobados por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá"*** (Contrato 864 de 2002).

8) Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2005). ***La Calidad del Aire es Cuestión de Todos.*** Cartilla Didáctica.

9) Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Corantioquia, Ingeambiente y Sanear (1999). ***"Identificación de Alternativas para el Análisis de Contaminantes Ambientales en el Valle de Aburrá"*** (Contrato No 240/1999).

10) Área Metropolitana del Valle De Aburrá - Universidad Nacional De Colombia (2004). ***"Evaluar los Niveles de Contaminación del Aire en las Zonas Urbanas del Valle de Aburrá Mediante la Operación de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá"*** (Convenio 538/2004).

11) Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontifica Bolivariana (2001). ***"Estudio de la Formación de Contaminantes Fotoquímicos Mediante la Modelación Matemática y sus Efectos en la Salud***" (Contrato 340 de 2001).

12) **"Partículas suspendidas (PST) y partículas respirables (PM10) en el Valle de Aburrá, Colombia. 2000-2001"**.

13) Universidad Pontificia Bolivariana/Grupo de Investigaciones Ambientales (2006). ***"Evaluación de la calidad del aire en la cuenca de la quebrada Altavista".***

14) Universidad de Medellín (2003). ***"Diseño de la red de monitoreo de la calidad del aire para el municipio de Envigado"***. Facultad de Ingeniería Ambiental.

15) Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontificia Bolivariana (2004)***. "Sistema de Información Metropolitano de la Calidad del Aire"***. Contrato 661 de 2004.

16) Corantioquia - Universidad Pontificia Bolivariana (año?). ***"Aplicación del modelo RAMS para el diagnóstico preliminar del medio físico atmosférico en la jurisdicción de Corantioquia"***.

17) Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Nacional –sede Medellín (2003)***. "Concentración de monóxido de carbono presente en el aire y la intensidad de ruido en el centro de la ciudad de Medellín"***. Convenio 4800000064 de 2003.

18) Secretaría de Medio Ambiente, la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá, varias universidades (cuales xx) (2004). ***"Efectos sobre la salud de la contaminación por ruido y monóxido de carbono y prevalencia de síntomas respiratorios en el centro de Medellín"***.

19) Toro, M.V. (2001). ***"Modelo de emisiones atmosféricas para el Valle de Aburrá MODEMED".*** Universidad Pontificia Bolivariana.

20) Echeverri, C.A. (2001). ***"Evaluación del Material Particulado en Suspensión en el Valle de Aburrá"***. Boletín de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá Nº 8. Noviembre de 2001.

21) Universidad de Medellín – Universidad de Antioquia (2005). ***"Consultoría para la evaluación de la calidad del aire, intensidad de ruido y sus efectos en la salud en 25 sitios de alto tráfico vehicular de la ciudad de Medellín".*** Informe nº 1, contrato nº 470018171 - 470018172 de 2005. Medellín, septiembre de 2006.

22) Gómez A., Henao E., Molina E., Molina F. (2003). ***"Evaluación de las Partículas Suspendidas Totales (PST) y Partículas Respirables (PM10) en la Zona de Guayabal, Medellín, Colombia".*** Septiembre de 2003.

23) CORANTIOQUIA – Universidad Pontificia Bolivariana (2005). ***"Evaluación de la Calidad del Aire en Zonas Rurales del Valle de Aburrá"***. Grupo de Investigaciones Ambientales (GIA/UPB).Octubre 2005.

24) Municipio de Girardota, Corantioquia y Corambiente (2002). ***"Diagnóstico Ambiental Municipio de Girardota. (capítulo 1.5. Recurso Atmosférico)".*** Convenio interadministrativo 4377 de 2002 (Municipio de Girardota y Corantioquia).

25) Universidad de Antioquia y Politécnico Jaime Isaza Cadavid (2004). ***"Correlación entre fuentes de PST y la contaminación existente en dos zonas de estudio".*** GIGA/Universidad de Antioquia y GHYGAM/Politécnico JIC, Medellín Antioquia Colombia. 2004.

26) Petro Bedoya, S. L., Robledo Arango C. A. (2000). ***"Cálculo preeliminar de factores de emisión por tráfico vehicular en la ciudad de Medellín; aplicación del programa US-EPA Mobile5a".*** Escuela de Ingenierías y Facultad de Ingeniería Mecánica, UPB. Medellín.

27) García González L.M., Rico Florez C. (2003). ***"Actualización y optimización del modelo de emisiones atmosféricas para el Valle de Aburrá MODEMED".*** Faculta de Ingeniería Mecánica, UPB, Medellín.

28) Universidad de Medellín – CES (2007). ***"Patologías respiratorias en niños preescolares y su relación con la contaminación atmosférica de Medellín".*** Secretaría de Medio Ambiente.

29) Corantioquia-Universidad de Antioquia (2003). ***"Construcción de la línea base de calidad del aire en 10 municipios de la jurisdicción de Corantioquia".*** Contrato inter-administrativo no. 4673 de 2003.

30) Corantioquia, Universidad de Antioquia, Universidad Pontificia Bolivariana (2004). ***"Construcción de la línea base de calidad del aire en 15 municipios de la jurisdicción de Corantioquia".*** Contrato inter-administrativo no. 5915 de 2004.

31) Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Universidad Nacional de Colombia/Sede Medellín, Universidad de los Andes (2005). ***"Evaluación de Alternativas para la Planificación Energética Sostenible de los Sectores Industrial y Transporte del Área Metropolitana del Valle de Aburrá"*** Convenio No. 612 de 2005.

32) Centro de información y documentación Área Metropolitana del Valle de Aburrá. **Plan de Mercadeo Programas de Fuentes Móviles del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (1998)** Centro de información y documentación Área Metropolitana del Valle de Aburrá. A02 0212

33) Área Metropolitana del Valle de Aburrá – Universidad de Antioquia – Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid – Universidad Pontifica Bolivariana. **Programa De Protección y Control De La Calidad Del Aire En El Valle de Aburrá (1998)** A02 046 – Vol. 1

34) Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá. **Evaluar Los Niveles De Contaminación En Las Zonas Urbanas Del Valle De Aburrá Mediante La Operación De La Red De Monitoreo De La Calidad Del Aire.** (Convenio 301/05)

35) Luis Felipe Cardona Alvarez.UPB, Facultad de Ingeniería Mecánica.1999 **Evaluación de la reducción de emisiones contaminantes atmosféricos por las nuevas normas de transito en la ciudad de Medellín.**

36) Claudia María Montoya Palacio.UPB. Especialización en Ingeniería Ambiental.2000. **Factibilidad de la aplicación del índice PSI (Pollutant Standard Index), para evaluar la calidad del aire en el Valle de Aburrá.**

37) Gloria Stella Ramírez Casas. UPB. Esc. Ingeniería Msc. En ingeniería con énfasis en Ambiental.2004. **Propuesta de modelo matemático para estimar la emisión de material particulado en fuentes fijas del municipio de Itagüí**.

fichas técnicas

4. Fichas técnicas de estudios revisados sobre Calidad del Aire

Nombre del proyecto	**Realización de contra-muestreos isocinéticos en fuentes fijas (chimeneas) como acción de vigilancia y control en algunas empresas del Valle de Aburra (contrato 1005 de 2001).**
Disponibilidad	Centro de información y documentación Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Medio físico
Referencia	A02 0291, A02 0292, A02 0293, A02 0294
Objetivos	• Realizar contra-muestreo isocinético en las calderas de las empresas: Compañía Colombiana de Tejidos S.A "COLTEJER S.A", Procesadoras de Leche S.A "PROLECHE", Lavandería Industrial "PELCO" y Manufacturas "LIVERPOOL S.A.". • Evaluar la emisión de material particulado, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y neblina ácida (H_2SO_4). • Determinar las condiciones de humedad, temperatura y composición de los gases de combustión. • Comparar las emisiones encontradas con los valores establecidos en la norma ambiental Colombiana.
Contaminantes y/o efectos estudiados	Óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, partículas menores de 10 micras (PM_{10}), monóxido de carbono, ozono, neblina acida y variables meteorológicas.
Metodología: • **Datos de origen** • **Muestreo** • **Tipo de análisis**	La metodología empleada en cada uno de los muestreos efectuados a las cuatro empresas seleccionadas cumplió con los requerimientos y exigencias de la normatividad Colombiana, según Decreto 02 de 1982 del Ministerio de Salud, Decreto 948 de 1995 del Ministerio de Medio Ambiente, y aplicando los métodos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, E.P.A: • Determinación del número de puntos y localización en la chimenea. • Determinación de velocidad de las emisiones y del flujo volumétrico del gas. • Análisis de los gases de chimenea para determinar los porcentajes de CO_2, CO y peso molecular del gas seco • Determinación de la humedad contenida en los gases de chimenea. • Recolección de material particulado en el filtro. • Aspiración isocinética de los gases y posterior sometimiento por las sustancias absorbentes. El equipo de muestreo usado fue un muestreador de chimenea de la marca Environmental Supply Company, modelo 2002 y compuesto por las siguientes partes: sonda de muestreo, conjunto de caja fría y caja caliente, cordón umbilical de 12 metros, consola manual, bomba de succión y un equipo analizador de gases de combustión marca Bacharach En la empresa de tejidos COLTEJER S.A se seleccionaron para el muestreo isocinético dos calderas destinadas a la generación de energía térmica en la

	planta de procesos, las cuales tienen un consumo de 13000 Kg/h de carbón y cada una opera a una presión de 600 psig. Para el control de emisiones, la caldera cuenta con un sistema de ciclón y Bag Hause. En la procesadora de lácteos PROLECHE S.A se realizó el muestreo en la caldera pirotubular destinada ala generación de vapor para el proceso de pasteurización. La caldera consume 55 gal/h de fuel – oil, opera en un rango de presiones de 100 a 120 psig y cuenta con un sistema de control de emisiones tipo ciclón. La lavandería industrial PELCO posee una caldera pirotubular con una capacidad de generación de vapor de 600BHP. El equipo consume 246 Kg/h de carbón mineral y posee un sistema de control de emisiones multiciclón. La empresa de manufacturas LIVERPOOL posee una caldera tipo acuotubular para la generación de vapor. Para tal fin, la caldera usa como combustible carbón mineral, con un consumo de 156 Kg/h. La presión de trabajo del equipo de combustión es de 120 psig y tiene un ciclón como sistema de control de emisiones.
Resultados	Los resultados de los contaminantes evaluados en la empresa COLTEJER S.A entregaron que las emisiones de material particulado, neblina ácida y dióxidos de azufre y nitrógeno son de 0.165 g/m^3, 0.114 g/m^3, 0.294 g/m^3 y 0.880 g/m^3, respectivamente. Todos los valores se encuentran por debajo de los límites permisibles estipulados por la legislación Colombiana. Los resultados de los contaminantes evaluados en la caldera de la empresa PROLECHE S.A., entregaron que las emisiones de material particulado, neblina ácida y dióxidos de azufre y nitrógeno son de 0.0930 g/m^3, 0.1769 g/m^3, 0.6094 g/m^3 y 0.450 g/m^3, respectivamente. Todos los valores se encuentran por debajo de los límites permisibles estipulados por la legislación Colombiana. Sin embargo, se recomienda a la empresa cumplir con el programa de mantenimiento definido tanto para el sistema de combustión como para el sistema de control de emisiones y se efectúe por parte de la empresa un muestreo mínimo por año lo cual reflejará unas emisiones mas limpias. Los resultados de los contaminantes evaluados en la empresa PELCO, entregaron que las emisiones de material particulado, neblina ácida y dióxidos de azufre y nitrógeno son de 0.106 g/m^3, 0.050 g/m^3, 0.1 g/m^3 y 0.730 g/m^3, respectivamente. Todos los valores se encuentran por debajo de los límites permisibles estipulados por la legislación Colombiana. Sin embargo, al verificar de forma cualitativa las condiciones físicas de la pluma; se recomienda a la empresa la implementación de un programa de mantenimiento adecuado, tanto para el equipo de combustión como para el sistema de control de emisiones. Los resultados de los contaminantes evaluados en la empresa de manufacturas LIVERPOOL entregaron que las emisiones de material particulado, neblina ácida y dióxidos de azufre y nitrógeno son de 0.153 g/m^3, 0.160 g/m^3, 0.223 g/m^3 y 0.2 g/m^3, respectivamente. Todos los valores se encuentran por debajo de los límites permisibles estipulados por la legislación

	Colombiana. Se recomienda a la empresa realizar las adecuaciones necesarias a la chimenea como instalar una plataforma de muestreos adecuada y las reparaciones de fisuras y picaduras por corrosión, las cuales pueden afectar la caída de presión de los gases de combustión.
Recomendaciones	Para efecto de la vigilancia y control, de las fuentes fijas contra muestreadas por parte del AMVA se recomienda de acuerdo a los parámetros definidos durante las evaluaciones tener los siguientes puntos de referencia: • Que la presión de vapor del sistema se encuentre cerca o en el valor de la presión de trabajo habitual. • Que el consumo de combustible reportado por la empresa corresponda al consumo real del equipo. • Dar cumplimiento al programa de mantenimiento definido por cada una de las empresas tanto para la caldera como para los sistemas de combustión. • Se recomienda a cada una de las empresas efectuar como mínimo un muestreo isocinético por año, lo cual se reflejará en unas emisiones más limpias.
Conclusiones	De acuerdo a lo recomendado se puede tener una frecuencia de muestreo o contra-muestreo en el momento que alguna de las empresas no cumpla con alguno de los parámetros registrados en el estudio. Tener como punto de partida los parámetros de dióxido de azufre, neblina ácida y dióxido de nitrógeno los cuales son objeto de discusión por parte de la autoridad ambiental y otras entidades para fundamentar estudios que permitan avalar una norma adecuada de dichos contaminantes.
Realizado por	Área Metropolitana del Valle de Aburrá – Universidad Pontificia Bolivariana (grupo GIA)

Nombre del proyecto	**Caracterización de las Emisiones de Calderas a Carbón del Valle de Aburrá: Determinación de Factores de Emisión (Convenio 327/2005).**
Disponibilidad	Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Medio magnético)
Objetivos	**General** Determinar los factores de emisión para material particulado (MP), NOx y SOx, en calderas colombianas con alimentación manual, potencia 50-100 HP, carbón como combustible y sin sistemas de control de emisiones. **Específicos** • Generar factores de emisión que permitan determinar las emisiones de NOx, SOx y MP en las calderas objeto de estudio. • Entregar un protocolo que facilite el análisis de eficiencia energética, mejoramiento en procesos de combustión, minimización de impactos a la atmósfera y elaboración de inventarios.
Contaminantes y/o efectos estudiados	Material particulado, monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno.
Metodología: • **Datos de origen** • **Muestreo** • **Tipo de análisis**	Durante la ejecución del proyecto se realizó una extensa revisión bibliográfica, estudiando en particular los factores de emisión existentes en otros países en relación con las calderas a carbón y el tipo de contaminantes a evaluar, así como las metodologías para la determinación de factores de emisión. Por medio de información suministrada por la empresa J.C.T., fabricante de calderas de vapor; y por medio de visitas realizadas a las empresas que usan estos equipos de combustión; se elaboró un diagnostico de las condiciones de la tecnología local, diseño y operación de las calderas a carbón existentes en la industria, así como de las características de los combustibles empleados. Con base en la información recopilada por las diferentes fuentes, se consolido una base de datos de las calderas a carbón existentes en el Valle de Aburrá. De acuerdo con la metodología trazada por el grupo de investigación, se decidió realizar muestreos isocinéticos en las empresas seleccionadas, para cuantificar los contaminantes emitidos en los gases de combustión. Se seleccionó el tamaño muestral de las calderas a evaluar, se visitaron las diferentes empresas escogidas, se recopiló información referente a la actividad productiva, los datos técnicos de la caldera a evaluar, se realizaron algunos requerimientos a las empresas para realizar el montaje del muestreo y por último se programaron cada uno de los muestreos isocinéticos. Además, para evaluar la calidad del combustible, en cada muestreo se tomaron muestras del carbón usado y se realizó el análisis próximo del mineral.

	La empresas seleccionadas para la realización de los muestreos isocinéticos fueron: Ospina Grasas y Pieles, Frigopor, Colorquímica, Cipa, Tintexa, Teñimos y Finca S.A. En cada empresa se realizaron dos muestreos en el mismo equipo de combustión. En total se realizaron 14 muestreos, de los cuales se tomaron solamente 12, debido a que la empresa Frigopor presento incumplimiento de la norma de emisión por material particulado en uno de los muestreos realizados.
Resultados	Con los datos obtenidos en los muestreos, se elaboraron hojas de cálculo para corroborar el porcentaje de isocinetismo y posteriormente recopilar los resultados, calculando también los factores de emisión del CO, CO_2, SOx, NOx y material particulado. Estos datos se ajustaron estadísticamente para encontrar los modelos matemáticos mas adecuados y hallar el factor de emisión de cada uno de los materiales mencionados. A continuación se presentan los valores promedio de los factores de emisión por contaminantes: CO: 7.986 kg/Ton carbón, CO_2: 2.519 Kg/Ton carbón, NOx: 11.588 kg/Ton carbon, Sox: 7.588 kg/Ton carbón, M.P: 2.926 kg/Ton carbón.
Conclusiones	Se encontraron correlaciones estadísticamente validas para el SOx, el material particulado y el CO_2, pero no se encontraron para el CO y el NOx, sin embargo estos gases se encuentran influenciados en mayor proporción por el porcentaje de O_2 y el nivel de potencia. Además, para todos los factores de emisión, se elaboraron cartas de control para mostrar los límites entre los que deberían estar cada uno de ellos, de acuerdo a los resultados arrojados por el estudio realizado. Estos datos serán de utilidad para la autoridad ambiental para establecer límites superiores de emisión para las diferentes empresas, según la cantidad de carbón que consuman los equipos de combustión.

Nombre del proyecto	**Caracterización de combustibles en sitios de distribución, establecimientos comerciales, industriales y servicios para verificar su calidad (contrato interadministrativo no 162/2005).**
Disponibilidad	Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Medio magnético)
Objetivos	**General** Caracterizar los combustibles usados en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y analizar su calidad en sitios de distribución, establecimientos comerciales, industriales y de servicio. **Específicos** • Caracterizar los combustibles sólidos, líquidos y gaseosos utilizados en las fuentes fijas ubicadas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. • Verificar la calidad y características de los combustibles en sitios de distribución, establecimientos comerciales, industriales y de servicio. • Verificar la calidad de los combustibles utilizados en algunos sectores productivos. • Desarrollar una metodología practica, aplicable al control de calidad de los combustibles en el Valle de Aburra. • Construir guías técnicas con los estándares para el muestreo y caracterización de los combustibles. • Capacitar funcionarios idóneos en muestreo, preservación y transporte de muestras de combustibles para análisis. • Establecer las herramientas técnicas necesarias para la interpretación de los resultados de laboratorio tendientes a caracterizar y evaluar la calidad de los diferentes combustibles. • Analizar la normatividad Colombiana actual al respecto de calidad de combustibles y su cumplimiento en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
Contaminantes y/o efectos estudiados	Contenido de agua en el petróleo y sus derivados, contenido de cenizas en productos del petróleo, determinación del color, contenido de azufre, contenido de gomas, capacidad de corrosión del petróleo y derivados, volatilidad, gravedad API, índice Cetano, poder calorífico, presión de vapor, punto de congelamiento, punto de fluidez, punto de inflamación y fuego por cápsula abierta y cerrada, punto de nube, cantidad de residuos carbonosos, viscosidad cinemática y la viscosidad Saybolt.
Metodología: • **Datos de origen** • **Muestreo** • **Tipo de análisis**	Para realizar los análisis de caracterización de Combustibles Líquidos, se extrajeron muestras de los siguientes combustibles: gasolina corriente, gasolina extra, fuel – oil, diesel, crudo de Rubiales, aceites usados, crudo liviano, queroseno y Jet – A (gasolina de avión). Los muestreos se realizaron en estaciones de servicio y empresas ubicadas en todo el Valle de Aburrá, y las muestras de combustible se retiraron directamente del tanque de abastecimiento. Todas las pruebas de análisis y caracterización aplicadas a los

	Combustibles Líquidos, sólidos y gaseosos se encuentran cobijadas por las normas ASTM (American Society for Testing and Materials Standards).
Resultados	Los análisis de laboratorio realizados a los Combustibles Líquidos demostraron que las muestras de gasolinas analizadas cumplen con los requerimientos de las normas ASTM excepto para el análisis de gomas, hecho atribuido principalmente a los aditivos agregados en las estaciones de servicio. Las muestras de combustibles como el Jet –A, diesel y queroseno cumplieron con todos los parámetros analizados. Sin embargo, los combustibles industriales presentaron la mayor cantidad de problemas de calidad y un gran porcentaje de las muestras recolectadas no cumplen con las especificaciones requeridas. De igual manera, los resultados de las pruebas de caracterización de carbones señalan que los menores porcentajes de azufre y cenizas se identificaron en las muestras de mineral recolectadas en las empresas ladrilleras. Paralelamente, las muestras de carbón del sector textil presentaron los menores índices de calidad, con contenidos de azufre y cenizas del 0.8 y 16%, respectivamente. La identificación y clasificación de los recursos forestales usados como combustibles demostraron que, el Sapan, El Cedro, La Teca, El Pino Pátula, El Ciprés, El Algarrobo, El Roble, El Abarco, El Nogal, El Eucalipto y La Cascarilla del Grano de Café, son las especies más utilizadas en calderas de vapor, hornos y secaderos. Los análisis de laboratorio demostraron que los mayores porcentajes de emisiones de azufre a la atmósfera son provenientes de la combustión de maderas como el Sapan (Clathropis Brachypetala) y de la Cascarilla de Café. Además, las menores emisiones de azufre, se encontraron en especies como El Pino Pátula, El Ciprés, EL Eucalipto, La Teca y El Algarrobo.
Conclusiones	• Las muestras de gasolina extra y corriente cumplen con los estándares de calidad según la norma ASTM D-4814 excepto con el contenido de gomas. El exceso en el contenido de gomas puede producir depósitos en el sistema de combustión, en los cilindros y alrededores de las válvulas de los vehículos. Estos depósitos pueden ser dañinos para los vehículos y el medio ambiente, sobre todo en combustibles de aviación, y restan eficiencia a todo tipo de motores. Adicionalmente, una combustión menos eficiente produce cambios en la cantidad de contaminantes emitidos por los vehículos, sin embargo, se requiere de un estudio más detallado para evaluar los efectos sobre el medio ambiente. • La causa más evidente del exceso de contenido de gomas son los paquetes de aditivos y el marcador que se le agrega a estos combustibles. • Las gomas son sustancias indeseables que provienen de componentes nitrogenados, se encuentran naturalmente en el crudo, y se distribuyen a los derivados de acuerdo a sus rangos de ebullición. Los crudos nafténicos, que se refinan en Colombia, tienen un mayor contenido de estos componentes, por lo tanto se debería realizar un mejor proceso de refino para controlarlos. De la misma manera, es importante hacer un

	control de calidad a los combustibles que se importan antes de ser mezclados con los productos nacionales. • El aditivo detergente que se debe agregar obligatoriamente por los mayoristas incrementa el valor del contenido de gomas ya que su función es dispersar las gomas en las gasolinas. Este incremento aparente en el contenido de gomas origina que el producto no cumpla con la Resolución 1180 de 2006 del Ministerio de Minas y Energía. La Resolución 1180 de 2006 en el Contenido de Gomas tiene un error que debe ser corregido ya que solo es aplicable al producto que sale de refinería sin marcador y sin los aditivos. • El método ASTM-D381 no diferencia entre las gomas que son productos nitrogenados y los aditivos por lo que se requiere realizar un protocolo de análisis diferente para identificar las gomas. Existen técnicas ultravioletas e infrarrojas que permiten evaluarlas. • Algunas estaciones de servicio arrojaron resultados fuera de los estándares de calidad según la norma ASTM D-975 respecto al punto de inflamación, viscosidad y destilación del Diesel que pueden ocasionar problemas en los motores y de seguridad en el almacenamiento de este combustible. Analizando los resultados de viscosidad, punto de inflamación e índice Cetano se puede inferir que el Diesel se encontraba contaminado con gasolina o residuos de esta. • Aunque los análisis de cada combustible registró un comportamiento similar para cada operadora, se puede ver que la Exxon y Texaco registraron los mayores índices en contenidos de gomas para la gasolina corriente y extra respectivamente. Esto refleja el uso de aditivos detergentes en sus gasolinas. • El protocolo empleado en el laboratorio para mediciones de contenido de azufre de los combustibles líquidos detecta porcentajes superiores al 1%, lo que no permitió encontrar valores por debajo de este porcentaje. • Para los combustibles industriales líquidos se registraron resultados que no cumplen con los estándares de calidad, tales como: altos contenidos de agua, cenizas y bajo poder calorífico. Esto puede originar daños en las calderas y una combustión ineficiente, produciendo una mayor emisión de sustancias contaminantes en las fuentes fijas. • De los resultados obtenidos en este estudio acerca de la calidad de combustibles para calderas y analizando los registros de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá (en material particulado, PST y PM10) se puede inferir que existe una correlación entre las fuentes fijas que emplean combustibles para calderas y el deterioro de la calidad del aire. • El gas natural vehicular cumple con los estándares de calidad y con la normatividad NOVA (ver guía capitulo de metodología). • Los carbones no excedieron los límites de emisiones de azufre. Se encontró que el Sapan muestra altos porcentajes de azufre (1.03 %) por lo cuál se aconseja aumentar el muestreo en empresas que utilizan productos maderables como combustible en estudios posteriores. Con esta información, la autoridad ambiental podrá tomar acciones restrictivas en la utilización de estas especies maderables.

Realizado por	Área Metropolitana del Valle de Aburrá – Universidad Nacional de Colombia (Facultad de Minas) Sede Medellín. La investigadora principal del presente proyecto fue, la Ingeniera Carmen Elena Zapata Sánchez y el interventor por parte del AMVA fue el Ingeniero Gustavo Londoño.

Nombre del proyecto	**Actualización del inventario de emisiones atmosféricas en el Valle de Aburrá, con georeferenciación de éstas (convenio 323/2005)**
Disponibilidad	Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Medio magnético)
Objetivos	Elaborar y montar el Modelo de Inventario de Emisiones Atmosféricas MODEAM para la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. **Específicos** • Desarrollar el inventario de emisiones tipo bottom-up en el cual se obtendrá para cada una de las celdas, todos los parámetros necesarios para estimar la contribución de cada fuente de emisión al total de emisiones. • Determinar el dominio, identificar y georreferenciar las fuentes de emisión (puntuales, de área y móviles para el modelo de inventario de emisiones). • Estimar las emisiones de las fuentes fijas de área o puntuales, las fuentes móviles y las fuentes naturales mediante la aplicación de factores de emisión o de información secundaria. • Diseñar la base de datos en el software apropiado acompañado por su diccionario de datos, y los documentos correspondientes a: manual del sistema e instalación, manual de usuario, variables y aspectos ambientales. • Implementar una interfaz para consulta y actualización de los datos en la base de datos • Implementar una interfaz para consulta y generación de reportes de los datos en la base de datos.
Contaminantes y/o efectos estudiados	Los principales contaminantes estudiados son: CO, NOx, SO_2, MP, y COV's. Las emisiones de COV's fueron agrupadas en 10 categorías: metano, otros-no-metanos, alcanos, cicloalcanos, alquenos, alquinos, aldehídos, cetonas, aromáticos y PAH's (hidrocarburos poli-aromáticos).
Metodología: • **Datos de origen** • **Muestreo** • **Tipo de análisis**	El MODEAM consiste en la aplicación de un conjunto de metodologías para el cálculo de emisiones de las diferentes fuentes de emisión (fijas, de área, biogénicas, móviles) en cada punto del espacio y en un determinado instante de tiempo. El inventario se compone de una lista compuesta de diferentes contaminantes emitidos por las fuentes mencionadas. De acuerdo a los objetivos, se desarrolló en este trabajo un inventario no homogéneo donde se implementó la disgregación espacial de tipo bottom-up que consiste en buscar, para cada una de las celdas, todos los parámetros necesarios para estimar la contribución de cada celda al total de

	emisiones. Este método, es raramente usado por la gran cantidad de datos que se requiere, como por ejemplo, número y tipo de vehículos, consumo de combustible, tipo de uso del suelo, densidad de población, pero da una mayor aproximación de la cantidad de gases emitidos. Los componentes del modelo de inventario de emisiones, se describen a continuación. • **Fuentes de emisión** Se analizan dos grupos de fuentes, las antropogénicas y las biogénicas. Las fuentes antropogénicas son las emisiones debidas a las actividades humanas representadas en las fuentes puntuales que se refieren a las emisiones generadas por procesos industriales, las de área, principalmente generadas por construcciones, canchas, entre otras y las fuentes móviles que representan el tráfico rodado. Las fuentes biogénicas son las emisiones provenientes de la naturaleza como la vegetación. • **Año Base** El año base del inventario identifica el año para el cual se estiman las emisiones y determina la posición del inventario en el tiempo. Esto da una marca fija para comparar los inventarios previos y subsecuentes. Es importante establecer un año base de manera que todas las estimaciones de emisiones tengan una base común y representen las actividades que ocurren durante el mismo período de tiempo. Para este caso en particular el año base es el 2005, por lo tanto se toman los valores de las mediciones de chimeneas, tráfico, población y usos del suelo proyectados a este año. • **Población** La población que es afectada directamente por las emisiones de las diferentes fuentes de emisión se enumera en la tabla 1 para cada municipio del Área Metropolitana extractado del censo realizado por el DANE en el último año. • **Características relacionadas con el tiempo** Se presentan dos características principales relacionadas con el tiempo que deben considerarse para el inventario: el período de tiempo y la variabilidad temporal. La primera se refiere al lapso representado por el inventario. Las emisiones del inventario se presentarán en unidades de masa del contaminante por periodo de tiempo del inventario (kg. de CO/año) La segunda característica describe la variabilidad de las emisiones en el tiempo. Si las emisiones son constantes en el tiempo, esta variabilidad no es de gran interés. El dominio del inventario representa el área para la cual se van a inventariar las fuentes de contaminante del aire. Para este caso se determina un área de 60x60 km. Los datos del inventario se manejan de manera electrónica. El programa principal de ejecución del MODEAM es el EXCEL.
Resultados	En el Valle de Aburrá se emiten 224.774 t/año de diferentes sustancias, distribuidas en 3 principales fuentes de emisión. El aporte corresponde a 148.433 ton/año para fuentes móviles, 70.001 t/año para fuentes fijas y

	6.340 t/año para las fuentes biogénicas. Cada una de estas fuentes emisoras se especifica en una serie de complementos que reúnen las características de los contaminantes, la metodología del inventario, el modelo de cálculo de las emisiones, la metodología para el manejo de datos, los resultados y conclusiones encontradas. Para el tráfico vehicular se obtuvieron las emisiones en caliente de algunos contaminantes atmosféricos como CO, NOx, SO_2, MP, y COV's (Compuestos Orgánicos Volátiles). Las emisiones de COV's fueron agrupadas en 10 categorías: metano, otros-no-metanos, alcanos, cicloalcanos, alquenos, alquinos, aldehídos, cetonas, aromáticos y PAH's (hidrocarburos poliaromáticos). En las fuentes fijas se tuvieron en cuenta las industrias que se encuentran en el Valle de Aburrá y las emisiones incluyen compuestos orgánicos e inorgánicos. En las emisiones biogénicas se calcularon los aportes de NO_x y COV's y el dominio seleccionado comprende 1.600km^2, aunque el área total de estudio del MODEAM fue de 3.600km^2, donde están localizados los 10 municipios que conforman el Área Metropolitana. La aplicación del modelo de emisiones atmosféricas MODEAM, permitió obtener el cálculo de los contaminantes analizados en cada una de las celdas, con lo que se pudo identificar que el dióxido de carbono (CO2) es el contaminante más emitido a la atmósfera, con un total de 1656581 ton/año, seguido por el monóxido de carbono, cuyo aporte se estimó en 106625 ton/año. Los siguientes contaminantes en orden de importancia son los COV's y el material particulado, con totales de 38627 t/año y 32479t/año respectivamente. Para el NO_x se obtuvo un valor de 18471ton/año. De los COV's, el de mayor emisión son los aromáticos, seguidos por los alcanos y los alquenos. En general, el centro de la ciudad de Medellín representa el área más afectada por el tránsito vehicular y las industrias, siguiendo en importancia, la región centro-oriental y el municipio de Itagüí. Así mismo, las mayores emisiones se presentan durante las horas de mayor tráfico automotor correspondientes a las ocho de la mañana y a las seis de la tarde. La mayor emisión de contaminantes provenientes de las fuentes biogénicas se presenta en el norte del Valle de Aburrá y la región de Santa Elena. Con el fin de conocer la tendencia de las emisiones en el Valle de Aburrá, se realizó un análisis que permitió establecer que el actual inventario presenta un incremento significativo de los óxidos de nitrógeno (62%) y de compuestos orgánicos volátiles (95%), respecto de los valores obtenidos en el 2003. Este aumento se atribuye a los siguientes aspectos: - Utilización de diferente información primaria para el cálculo de emisiones vehiculares en ambos estudios. - Diferencias importantes entre los factores de emisión de la EPA y CORINAIR - Actualización de la base de datos de las fuentes industriales del Valle de Aburrá. - Actualización de la PAR en las emisiones biogénicas del Valle de Aburrá. Los resultados de emisión totales obtenidos en el inventario de 2005, mostraron un incremento global de 12% respecto del 2003. Los mayores

	aportes corresponden a los contaminantes CO y COV's.
Conclusiones	El modelo ETROME, constituye una herramienta que permite a las autoridades ambientales estimar las emisiones provenientes del tráfico vehicular en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. La obtención de información primaria como aforos vehiculares, flota vehicular es la actividad prioritaria tendiente a actualizar las emisiones, lo que implica que las entidades responsables del manejo de esta información posean bases de datos confiables y completas. La aplicación de modelos computacionales es el punto de partida para establecer escenarios espacio-temporales críticos en determinadas regiones. El desarrollo de este trabajo permitió actualizar y mejorar un programa de computador con el propósito de elaborar de una forma fácil y eficaz el inventario de emisiones atmosféricas de fuentes vehiculares para la malla vial del Valle de Aburrá y servir como base para la definición y adopción de mecanismos de prevención y control de las emisiones producidas por el parque automotor. El análisis de aforos vehiculares permitió identificar las principales vías del Valle de Aburrá que presentan congestiones significativas en horario pico de la mañana y de la tarde. Estas vías corresponden a la Autopista Norte (Cra 64C), Regional Norte y Sur, Avenida Oriental, Avenida el Poblado, Avenida Industriales, Calle 30, Calle 33, Calle 44 y Calle 12Sur. Se observó que la emisión de contaminantes atmosféricos en el Valle de Aburrá, debido a fuentes vehiculares se presenta con mayor intensidad en la zona central urbana y centro oriental de la ciudad de Medellín, mostrando que cerca del 72% del tránsito total diario circula entre las siete de la mañana y las siete de la noche, con horario crítico correspondiente a las 6:00 de la tarde, en el que se presenta el 6.07% del tráfico total y las menores velocidades de circulación. Los máximos valores de emisión identificados durante el horario de la madrugada, corresponde a 250 kg/h para CO, 35 kg/h para NOx y 60 kg/h para COV's. Al medio día, se obtuvieron emisiones de 950 kg/h, 130 kg/h y 250 kg/h para CO, NOx y COV's respectivamente. Al finalizar la tarde (6:00 p.m.), se registró la mayor circulación del parque automotor y por consiguiente las emisiones promedio fueron las más intensas: 1100 kg/h para CO, 140 kg/h para NOx y 270 kg/h para COV's. La mayor tasa de emisión diaria corresponde a 285,26 t/día para el monóxido de carbono lo que representa más del doble de las cantidades calculadas para el resto de los compuestos estudiados. Adicionalmente, los contaminantes COV's y NOx presentan una emisión de 75,69 t/día y 40,49 t/día respectivamente. Los resultados del modelo mostraron una relativa baja emisión de SO2 y material particulado por el exhosto de los vehículos, debido a las características específicas de los combustibles europeos y a la adecuada sincronización de vehículos a diesel de esta zona. Las emisiones de CO representan la mayor participación en los resultados totales del inventario, debido a que están relacionadas con algunos elementos que generan menos eficiencia en los motores de los vehículos como los que se enuncian a continuación.

	- Procesos de combustión incompleta. - Las bajas velocidades de circulación. - La edad del parque automotor. - Las deficiencias en el mantenimiento y sincronización de los vehículos. Con la aplicación del modelo, se pudo establecer que de los COV's, los aromáticos fueron los de mayor emisión con un aporte de 21,8 t/día, seguidos por los alcanos con 12,7 t/día y los alquenos con 9 t/día. Este comportamiento se debió al perfil de composición de los contaminantes orgánicos volátiles presentado por CORINAIR en 2002. El tráfico rodado es una importante fuente de emisión de contaminantes en el Valle de Aburrá. El aporte estimado en el actual inventario corresponde a una cantidad global de 148433 t/año. De este total, 104117t/año corresponde a CO, 14780 t/año a NOx, 27627 t/año a COV's, 989 t/año para MP y 920 t/año para SO2. La utilización de los factores europeos, es mucho más favorable para la región de estudio, debido a que permite estimar emisiones de contaminantes primarios como CO, SO_x, NO_x, PST y de algunos compuestos orgánicos volátiles como los aromáticos, alcanos, alquenos, alquinos entre otros, mientras que el modelo americano sólo estima CO, NOX y COV en general. La especiación de COV's se convierte en una información primaria fundamental para la modelación de la calidad del aire, a través del uso de modelos fotoquímicos. A partir del cálculo de factores de emisión para diferentes modelos y tipos de vehículos, se estableció que la emisión de CO es inversamente proporcional a la velocidad, es decir que a más bajas velocidades de tránsito, la emisión es mayor. Esto puede apreciarse, por ejemplo, en el caso de liberación de CO para buses transitando a velocidades de 30km/h y 60km/h, cuya diferencia asciende a 26% más emisión para la velocidad de 30km/h. En el caso de NOx., se encontró que a mayores velocidades la emisión aumenta proporcionalmente. En cuanto al metano, se obtuvieron mayores emisiones cuando los vehículos circulan a bajas velocidades. Para los buses urbanos que funcionan con diesel se tienen emisiones mayores de CO, NOx, COV's y MP para velocidades bajas. Las motocicletas presentan emisiones directamente proporcionales a la velocidad, es decir que a mayor velocidad, mayor emisión. Esto se evidencia en el caso de velocidades de 30km/h y 60km/h, donde el valor emitido de CO asciende a 22,36g/km y 24,86g/km respectivamente. La misma situación se presenta para los demás contaminantes. Las motocicletas de 4 tiempos presentan emisiones de tendencia similar a las de 2 tiempos. A mayor velocidad, mayor emisión. Al realizar promedios ponderados de los factores de emisión y evaluando las emisiones totales se pudo conocer que las motocicletas son la mayor fuente de emisión de CO, con un porcentaje de participación del 53%. Los buses generan 45% de las emisiones de MP, cerca del 8% de las emisiones de CO y 52% de las emisiones de NOx. Para el SO2 se determinó que los buses y camiones contribuyen con el 50% de las emisiones totales, mientras

	que los automóviles sólo aportan el 1%. Para los COV, el aporte parcial se distribuye en porcentajes de 13% para automóviles, 7% para buses, 11% para camiones y 69% para las motos. Al comparar el perfil de emisión horaria con los resultados de la calidad del aire en el Valle de Aburrá, se pudo determinar que el comportamiento horario sigue una tendencia similar en ambos casos. Sin embargo, es de esperarse que las concentraciones de SO2 y MP en el Valle de Aburrá sean mayores a los que pueden obtenerse con factores de emisión europeos, debido a que los combustibles locales presentan muchos más altos contenidos de azufre y cenizas, comparados con los combustibles de Europa. Además, los vehículos diesel en Europa están bien calibrados, mientras que en los automóviles locales emiten mayor cantidad de hollín y material particulado debido a las bajas eficiencias de combustión. Se determinó que los vehículos que más emiten a la atmósfera, cuando se analiza la contaminación unitaria, son los de mayor antigüedad (< 1970), seguidos por los demás modelos en orden creciente. En la malla total, los modelos que más aportan contaminación son los >1986, esto se debe a que su participación corresponde al 69% del total del parque automotor. Los vehículos diesel son responsables de la mayor emisión de MP, NOx y SO_x, mientras que los vehículos a gasolina contribuyen significativamente en las emisiones de CO y COV. La estrategia efectiva de reducción de emisiones de contaminantes debe enfocarse a la utilización de nuevos combustibles como el Gas Natural y a mejoras en la calidad de los combustibles diesel que se utilizan en la actualidad. El análisis del estudio del diagnóstico del plan maestro de movilidad para la región metropolitana, permite concluir que existe una deficiente infraestructura vial en los municipios del Valle de Aburrá. En promedio general para el área de influencia del estudio se observa que la relación área vial/área urbana corresponde a un valor de 13,76% inferior al 15% recomendado por el Banco Mundial. Lo más preocupante es que ningún Municipio aparte de Medellín supera el 15% de área vial y el promedio de los 9 Municipios, excluyendo Medellín es de tan sólo 3,4% de área vial. La implementación de los sistemas de información geográfica en el desarrollo de la tesis, permitió establecer que el modelo de distribución de contaminantes más confiable y utilizado es el Universal Kriging, debido a que permite obtener una moderada interpolación de datos que puede ser exacta dependiendo de la confiabilidad de la información. El kriging usa un modelo estadístico que puede generar una gran variación de mapas incluyendo predicciones, probabilidad, etc. El inventario realizado es una estimación de las emisiones producidas por las fuentes móviles en el Valle de Aburrá, sin embargo es necesario indicar que existen niveles de incertidumbre significativos por los siguientes aspectos: - Los factores de emisión utilizados se desarrollaron bajo metodologías europeas y americanas apropiadas para las características locales particulares. - La información obtenida de las Secretarías de Tránsito del Área Metropolitana en la mayoría de los casos es incompleta o inexistente.

	- Los aforos vehiculares analizados para las 24 horas en diferentes sitios de la ciudad de Medellín, se obtuvieron en diferentes meses del año. - En otros sitios estratégicos se procesaron los aforos a través de una interpolación horaria, debido a que sólo se tenían datos reales para las horas de la mañana, medio día y final de la tarde. - Es importante la realización de nuevos estudios tendientes al cálculo de factores de emisión de contaminantes provenientes de fuentes móviles en el Valle de Aburrá. En el análisis de incertidumbres, se pudo apreciar que la participación de las partículas y el SO2 en las emisiones totales del Valle de Aburrá es menor a la presentada en las otras zonas de estudio, y esto puede deberse al hecho de que en otras ciudades el tráfico vehicular pesado se presenta en un porcentaje mayor y a las diferencias del contenido de azufre y cenizas en el combustible utilizado. Para las emisiones de NOx se observó que los porcentajes son bastante similares para las zonas del AMVA, Bogotá y Nuevo León, lo cual puede atribuirse a la forma de calcular las emisiones de las fuentes móviles. Las emisiones anuales del monóxido de carbono igualmente presentan una mayor diferencia entre las estimadas para el AMVA y para las otras zonas, situación que se atribuye a la metodología de cálculo de las emisiones, a los factores de emisión utilizados y a la forma de estimación del flujo vehicular. Las emisiones relativas de COV's son comparables a las presentadas por las otras zonas; sólo la contribución a las emisiones totales en Bogotá es claramente mayor. Existen diferencias significativas, entre los inventarios realizados mediante los métodos de balances de masa y factores de emisión. La elección de alguna de las 2 metodologías depende de la cantidad y confiabilidad de información disponible en la región de estudio y de la exactitud de los resultados que se pretendan alcanzar. En general para los municipios del Área Metropolitana la información existente acerca del parque automotor es deficiente e incompleta, es por esto que se hace necesario mejorar los mecanismos de recolección y procesamiento de datos al interior de cada una de las dependencias encargadas del manejo de esta información. **Inventario de fuentes biogénicas** En la generación del inventario de emisiones biogénicas se consideraron 9 tipos fuentes de vegetación entre los que se incluyen el matorral, los bosques de pino y eucalipto, y los cultivos de fríjol, café, papa, maíz caña de azúcar y frutales. Las cantidades totales anuales emitidas por la vegetación del Valle de Aburrá, son 6340.49 t, donde el 95% corresponde a COV's y el 5% a NO. Estas fuentes sólo representan aproximadamente un 5% de las emisiones totales, convirtiéndose en la tercera fuente con mayor importancia en la liberación de de gases a nivel regional, después de las fuentes móviles y fijas. El isopreno es un gas biogénico de olor agradable con mayor emisión en el Valle, con una tasa de 11239.21 kg/día. Para los monoterpenos, otros

	COV's y NO, la emisión diaria corresponde a 2147.57 kg, 3109.65 kg y 874.79 kg, respectivamente. La hora del día en la que se presenta mayor emisión es la 1 de la tarde, mientras que a las 4 de la mañana, la tasa de emisión es la menor. Se observó cómo a las horas diurnas se incrementa la liberación de gases por parte de la vegetación, debido a su relación con la temperatura y la radiación solar. Los resultados de emisión obtenidos para las diferentes especies forestales y agrícolas permiten concluir que los matorrales emiten una mayor cantidad de isopreno. Esta alta emisión se debe a que cubren el 48% del área de estudio. La siguen los bosques que representan los parques naturales de coníferas y eucaliptos sobre en los alrededores del Valle de Aburrá. Estas especies generan una mayor proporción de monoterpenos. Las especies no forestales, por su parte, emiten mayores cantidades de otros compuestos orgánicos volátiles y NO según sea la especie agrícola. De éstas, se observó que la caña de azúcar es la especie agrícola que más emite isopreno, monoterpenos y OCOV y el maíz el mayor emisor de NO. En general, la emisión de contaminantes atmosféricos debido a fuentes biogénicas se presenta con mayor intensidad en la zona nor-oriental del Valle de Aburrá (municipios de Barbosa y Girardota). Igualmente, se pudo identificar que los gases liberados (COV's) por la vegetación, se concentran en su mayoría en los bosques cercanos a Caldas (parque natural) y en la zona de Piedras Blancas en Santa Elena, con horario crítico a las 13 h. En los inventarios de 2003 y 2005 la contaminación disminuyó un 17 %. Esta variación se debe especialmente a que los resultados se afinaron con este último inventario, a partir de la utilización de valores de la PAR suministrados por el IDEAM y obtenidos con sensores que miden la irradiancia para longitudes de onda comprendidas entre 400 y 700 nm. Con el lenguaje de programación Visual Basic y las Macros desarrolladas en EXCEL se logró facilitar y agilizar el análisis de los datos; además se pudo actualizar de forma automática el valor de la PAR de las fuentes biogénicas y todos los archivos del inventario de emisiones. Para el desarrollo de futuros inventarios de emisiones y con el propósito de minimizar las fuentes de incertidumbre, se recomienda: - Ampliación del dominio seleccionado y el número de especies vegetales incluidas en el inventario. - Revisión de las actualizaciones del Plan de Ordenamiento Territorial para los municipios que conforman el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. - Cálculo de valores de la PAR por diferentes métodos (teóricos y reales) y evaluación de su respectiva aplicación a las condiciones particulares del Valle de Aburrá **Inventario de fuentes fijas** - En el desarrollo del inventario de fuentes fijas, se encontró en las bases de datos del Area Metropolitana del Valle de Aburrá que un número

	importante de empresas no presentan muestreos isocinéticos recientes razón por la cual no es posible comparar los resultados obtenidos de los muestreos con los calculados por factores de emisión. - En el proceso de recolección de datos en campo se encontró un gran número de empresas que no son reguladas en la emisión de sus fuentes fija por parte de autoridad ambiental. - Las industrias del Valle de Aburrá se encuentran en un 80% ubicadas en centro y hacia el sur del valle es decir, Medellín, Itagüí, Sabaneta y La estrella convirtiéndose esta zona en la que mayores fuentes fijas posee y por consiguiente realiza las mayores emisiones. En este sector en particular las industrias se encuentran dentro de los centros urbanos presentándose solo algunas empresas que están ubicadas en las zonas rurales que en su mayoría corresponden al sector cerámico y de vítreos donde están las ladrilleras, alfarerías y tejares. La mayor concentración de estas empresas se ubica en la zona rural del municipio de Itagüí realizando grandes aportes de Material Particulado, CO2 y CO. - Predominan en el inventario realizado de fuentes fijas, el sector de bebidas, alimentos y tabacos con un 20,5% seguido del sector textil con el 16,7%. Se puede observar un aumento considerable de empresas nuevas que se están asentando dedicadas al procesamiento y producción de textiles debido a la gran proyección y desarrollo que tiene este campo en el valle de aburrá. - Los procesos contaminantes se deben a la producción de vapor en un 48,5% de las empresas para la generación de energía, sin embargo, en el municipio de Itagüí el equipo más usado es el horno el cual esta asociado con los procesos cerámicos y vítreos. - Aunque el combustible más usado es el carbón bituminoso con un 33,1%, un gran número de empresas (47,6%) consumen como combustible el gas y el fuel oil No 2 (ACPM y Diesel) los cuales son considerados combustibles limpios. Este proceso se hace más notorio en el municipio de Medellín donde el 56% de las fuentes fijas usan estos combustibles. Este proceso de transformación se ha generado gracias a las políticas acertadas del AMVA y que muchas de estas empresas han emprendido el proceso de producción mas limpia y reconversión tecnológica. - El 70% de las fuentes fijas no posee sistemas de control de emisiones, el 30% de las empresas que si posee estos sistemas, lo hacen de manera permanente en parte porque la normatividad colombiana existente en el momento es muy laxa permitiendo que las empresas cumplan fácilmente con las emisiones permitidas. - Los contaminantes que se emiten más a la atmósfera por parte de las fuentes fijas son el material particulado con 31490.4 t/año y el SOx con 21362.7 t/año debido a la quema que se realiza de los combustibles que se utilizan para sus procesos. La emisión de CO2 que es el causante del efecto invernadero solo como resultado de la emisión de las fuentes fijas, es del orden de 1656582 t/año siendo esta cifra supremamente alta. - La emisión de metales y PAH que son los causantes de enfermedades como el cáncer, los tumores o las malformaciones congénitas se consideran muy representativas sobre todo para la población que permanece expuesta a ellas durante largos periodos de tiempo.

	- Al comparar los resultados obtenidos con los de otras ciudades de características geográficas y demográficas similares, se puede concluir que las emisiones realizadas por las diferentes fuentes contaminantes del valle de aburrá se encuentran por debajo de los otros municipios sin significar ello que se debe bajar la guardia en la implementación de medidas de mejoramiento, mitigación y control de la contaminación. - Existen variaciones importantes en cuanto a la composición de los contaminantes entre los inventarios de 2003 y 2005 lo cual se puede entender como el cambio que se ha generado en los últimos años en los procesos y los combustibles usados en las diferentes fuentes fijas.
Realizado por	Área Metropolitana del Valle de Aburrá – Universidad Pontificia Bolivariana. La investigadora principal del presente proyecto fue la Dra Maria Victoria Toro Gómez.

Nombre del proyecto	**Identificación De Episodios de Contaminación Atmosférica en el Valle de Aburrá (Contrato 1787 de 2002)**
Disponibilidad	Centro de información y documentación Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
Referencia	A02 0239
Objetivos	El documento no tiene objetivos
Contaminantes y/o efectos estudiados	Óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, partículas menores de 10 micras (PM_{10}), monóxido de carbono, ozono y variables meteorológicas.
Metodología: • **Datos de origen** • **Muestreo** • **Tipo de análisis**	Las mediciones se realizaron con la estación móvil de monitoreo de la calidad del aire propiedad de la Universidad Pontificia Bolivariana en las situada en las instalaciones de las empresas SUMICOL y HOLASA. Los sitios de muestreo se seleccionaron de acuerdo a los siguientes criterios: ✓ Flujo del viento. Este parámetro permite evaluar como son transportados los contaminantes hacia otros lugares, los cuales se comportan como sumidero. ✓ Lugares con una ubicación cercana al centro del valle de modo que se permita analizar el efecto de las fuentes móviles. ✓ Instalación. Este criterio define cuales deben ser las condiciones mínimas que debe cumplir el lugar de ubicación de la estación de monitoreo; ejemplo, estar fuera de la interferencia cercana de árboles y edificaciones. La estación de móvil de monitoreo se ubico en SUMICOL desde el 7 de marzo al 6 de abril de 2003. En la empresa HOLASA las mediciones se realizaron entre el 7 de abril y el 5 de mayo de 2003.

Resultados	De acuerdo a la norma Colombiana vigente para el año 2003, el límite máximo permisible para los óxidos de nitrógeno es 100 µg/m^3 anual y 150 µg/m^3 diario. Durante el periodo de medición para las dos estaciones no se presentaron eventos de concentraciones promedio diarias que excedieran las normas de calidad de aire. La concentración promedio del periodo de muestreo de SUMICOL de 25 ppb (en un mes) no excedió la norma promedio anual para los óxidos de nitrógeno. Para la estación HOLASA, la concentración promedio de 26.3 ppb (en un mes) tampoco excedió la norma ambiental. Respecto a los óxidos de azufre la norma actual Colombiana tiene fijados como limites máximos de emisiones de 100 µg/m^3 anual y 400 µg/m^3 diario. Durante el periodo de medición no se presentaron eventos de concentraciones promedio que excedieran la norma de calidad del aire diaria y trihoraria para este contaminante en ninguna de las dos estaciones. La concertación promedio del periodo de muestreo para sumicol fue de 9.1 ppb (en un mes), la cual no excedió la norma promedio anual para los óxidos de azufre. Así mismo, la concentración promedio de 19.6 ppb (en un mes) para la estación Holasa tampoco excedió esta norma. Para el monóxido de carbono se tenía establecido como limite permisible 50 µg/m^3 horario y 150 µg/m^3 octohorario de acuerdo a la norma ambiental Colombiana. Durante el periodo de medición no se presentaron eventos de concentraciones promedio que excedieran la norma tanto horaria como octohoraria en ninguna de las dos estaciones. En cuanto al ozono las concentraciones máximas de acuerdo a la norma Colombiana para el año 2003 era de 170 µg/m^3. Durante el periodo de medición se presentaron 46 episodios de incumplimiento de la norma horaria, distribuidos entre las 10:00 am y las 13:00 horas. Para la estación Holasa se presentaron 35 episodios de incumplimiento de la norma horaria, distribuidos entre las 10:00 am y las 13:00 horas. Esta situación es atribuida a que este es el periodo del día con la mayor intensidad de radiación solar, y por lo tanto con la mayor formación de ozono en la atmósfera por reacciones fotoquímicas. La concentración máxima en la estación sumicol de ozono fue de 161 ppb mientras que para la estación Holasa fue de 162 ppb. Finalmente la norma ambiental Colombiana máxima para material particulado (PM_{10}) era de 50 µg/m^3 anual y 150 µg/m^3 diaria. Para la estación Sumicol se presento un episodio de violación a la norma ambiental para este contaminante, con un valor de 158.6 µg/m^3. Para la estación Holasa no se presentaron violaciones a esta norma. La concentración promedio del periodo de muestreo en la estación Sumicol fue de 99.2 µg/m^3 (en un mes) y en la estación Holasa fue 63.5 µg/m^3, ambos valores excedieron la norma propuesta. En cuanto a las variables meteorológicas se encontró que las direcciones predominantes del viento vienen desde el NE y SW.

Conclusiones	El documento no tiene conclusiones
Realizado por	Área Metropolitana del Valle de Aburrá – Universidad Pontificia Bolivariana (grupo GIA)

Nombre del proyecto	**Apoyo en Ingeniería Mecánica al Grupo de Fuentes Móviles y del Proyecto de Monitoreo, Control y Protección de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá. (Contrato 1254 de 2003)**
Disponibilidad	Centro de información y documentación del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Medio Físico y magnético)
Ubicación	A02 0259
Objetivos	**General** Apoyo en Ingeniería Mecánica al Grupo de Fuentes Móviles y del Proyecto de Monitoreo, Control y Protección de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá. **Específicos** • Realizar control y seguimiento a los equipos que realizan la verificación por emisiones de combustión interna a las Fuentes Móviles de los diferentes Centros de Diagnóstico aprobados por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. • Apoyar técnicamente operativos de vigilancia y control en la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. • Apoyar al grupo de fuentes móviles en el funcionamiento y principios de motores diesel y gasolina, estableciendo las características de las revoluciones necesarias o requeridas de las fuentes móviles, para establecer la operación normal de los vehículos, en marcha relanti y aceleración libre. • Realizar 90 visitas de seguimiento y control a los centros de diagnóstico aprobados para la verificación a fuentes móviles, con la logística propia y requerida para dar cumplimiento a esta actividad. • Apoyar a la Subdirección Ambiental en la elaboración de propuestas y alternativas frente al grado de contaminación que generan las Fuentes Móviles, para mejorar la calidad del Aire en el Valle de Aburrá. • Realizar dos (2) capacitaciones para los técnicos de los Diagnosticentros aprobados por el Área Metropolitana del Valle de Aburra, en la temática técnico-mecánica sobre el funcionamiento de motores diesel y a gasolina y su repercusión en las emisiones generadas. • Realizar informes mensuales y análisis estadístico de los resultados obtenidos en el Programa de Fuentes Móviles.

Contaminantes y/o efectos estudiados	Dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados, compuestos orgánicos volátiles y compuestos fotoquímicos.
Metodología: • **Datos de origen** • **Muestreo** • **Tipo de análisis**	Se realizaron visitas de inspección a los Diagnósticentros con el fin de verificar las condiciones de operación de los equipos de análisis de las emisiones de gases de contaminantes. Se realizaron operativos relámpago de control a los automotores en la Jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. De acuerdo a las zonas de mayor flujo vehicular y con acompañamiento de las autoridades de tránsito respectivas de cada municipio, se verificaron durante cada mes y en cada municipio cerca de 4.200 vehículos. Estas actividades permitieron estudiar el comportamiento de la combustión interna de todas las fuentes móviles.
Resultados	Se encontró durante las visitas realizadas a los diagnósticentros, que se estaba permitiendo la preparación previa del vehículo para que al momento de realizarse la prueba de emisiones, el automotor cumpla con los requerimientos mínimos exigidos por la norma Colombiana. Los estudios demostraron que el 48.7% de las fuentes móviles verificadas superaban los límites permisibles de emisión para el monóxido de carbono y/o hidrocarburos para el modelo determinado, según la Resolución 005 de 1995 del Ministerio del Medio Ambiente. En la Jurisdicción Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), de acuerdo a las zonas de mayor flujo vehicular y con acompañamiento de las autoridades de tránsito respectivas de cada municipio, se verificaron durante cada mes y en cada municipio un total de 4.181 vehículos. Para una mejor comprensión de los resultados obtenidos, se presentan a continuación, el total de los vehículos verificados discriminados por municipio, haciendo relevancia sobre la concentración de monóxido de carbono e hidrocarburos y comparándolo con el estándar establecido por la Resolución 005 y 909 de 1996 emanada por el Ministerio del Medio Ambiente. Los resultados de cada vehículo verificado aparecen en anexo.
Conclusiones	• De los reportes realizados por los Diagnosticentros, donde se específica los vehículos que pasaron la prueba y se certificaron. Es de anotar que este Parque Automotor, cuando se acerca a un centro de diagnostico para adquirir el certificado que lo acredita cumpliendo las normas mínimas de emisión de gases de combustión; en general está preparado el vehículo para que pase dicha prueba, es por esto que el análisis por vehículo reprobando emisión de análisis por vehículo reprobando emisión de CO y/o Hc no es variable de peso. • En los operativos de vigilancia y control realizados en los municipios que

	conforman el Área Metropolitana del Valle de Aburrá con énfasis en las vías de mayor circulación y vías arteriales que sirven de cruce para otras regiones, nos dan un gran aporte del comportamiento de la combustión interna de todas las fuentes móviles que circulan por esta jurisdicción. • De los resultados obtenidos, es predominante los modelos 1981 – 1990, con mayor cantidad de vehículos circulando y con relevancia superan las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos. • De los operativos de vigilancia y control discriminados por municipios se observa: ➢ El mayor número de vehículos circulando están entre los modelos 1981 – 1990 y 1991 – 1995. ➢ En el Municipio de Bello es relevante el parque automotor mayor de 20 años circulando por la zona norte de la jurisdicción del Área Metropolitana del Vallé de Aburrá: • Un 33% de los vehículos verificados son modelos 1980 y anteriores. • Un 36.76% de los vehículos verificados son modelo 1981 – 1990. ➢ En el Municipio de Medellín e Itagüí, es notable el parque automotor mayor de 20 años en circulación por la zona centro y sur respectivamente. • En Medellín el 36.4% de los vehículos verificados son modelo 1981 – 1980. • En el Municipio de Caldas se verificaron un total de 379 vehículos de los cuales un 35% son vehículos con 20 años de circulación, en los que se determinó mayor porcentaje de emisión de monóxido de carbono e hidrocarburos. • Los vehículos circulando en la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá Modelos 1998 y posteriores es la población más baja, además de ser lo que menos aporta contaminación al recurso aire. • El parque automotor con más de 20 de años que circula en la jurisdicción Área Metropolitana del Valle de Aburrá, son los que presentaron mayor número de vehículos rechazados por hidrocarburos. • En los municipios Frontera en zona norte (Bello, Copacabana) y Caldas en la zona sur, es determinante el parque automotor mayor de 20 años. Los vehículos de modelos 1981 a 1990 son los que presentaron mayor contaminación de monóxido de carbono e hidrocarburos. • De 4.181 vehículos verificados se determinó concentración de monóxido de carbono superando la norma en el 63.45% (Modelos 1981 a 1990) de las fuentes móviles circulando en la jurisdicción Área Metropolitana del Valle de Aburrá y predominando las emisiones de hidrocarburos emitidos a la atmósfera. • El 48.7% de las fuentes móviles verificadas superaban el estándar de emisión de monóxido de carbono y/o hidrocarburos para el modelo determinado en la Resolución 005 de 1995 del Ministerio del Medio

	Ambiente. • De un total de vehículos verificados en las diferentes vías del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, se observa el predominio de vehículos en circulación modelo 1981 a 1995, los cuales determinan la emisión predominante de monóxido de carbono a la atmósfera. De las fuentes móviles verificadas en el Municipio de Copacabana se presentó un mayo número de vehículos en circulación modelo 1980 y anteriores (más de 20 años) los cuales representan el 48.5% de la población vehicular verificada en este municipio.
Recomendaciones	• Realizar un estudio del parque automotor operado con combustible Diesel, con énfasis en servicio público, de tal forma que se pueda determinar una tabla de estándares para este tipo de fuentes móvil. • Implementar en los centros de diagnóstico aprobados por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Unidades Móviles, un software único de operación para los diferentes equipos que miden las emisiones a las Fuentes Móviles a Diesel y Gasolina, de tal forma que se garantice un reporte único de la prueba, condiciones estándar de verificación que garanticen una mayor confiabilidad de la prueba realizada. • Adoptar como estándares de emisión para concentración de monóxido de carbono e hidrocarburos los resultados de la Tabla No.2 de la actividad 2.2.8. Ver documento • Realizar un inventario de emisiones de fuentes móviles para estimar la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera en las áreas donde se realizan operativos de vigilancia y control acorde con las estaciones de la red de calidad del aire. • Establecer en la red de calidad del aire medidores de monóxido de carbono e hidrocarburos en los sitios de mayor circulación o influencia en el acceso de tráfico vehicular, de tal forma que se confronte la contaminación generado por combustión interna en emisión e inmisión. • Adquirir un kit de gases de calibración, un kit de calibración de temperatura y un kit de calibración de opacidad para mayor control de los equipos que realizan la verificación a las Fuentes Móviles en los Centros de Verificación Ambiental. • Establecer de carácter permanente el análisis estadístico de la información tomada en los operativos de vigilancia y control para determinar el análisis puntual por zona y/o área. • Usar la herramienta de factores de emisión para determinar la calidad del aire por las Fuentes Móviles en los sitios de los operativos en tiempo real. • Adquirir, alquilar o establecer un convenio para disponer de otra unidad móvil y los técnicos requeridos con el fin de ampliar la cobertura de vigilancia y control a las fuentes móviles que circulan por la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. • Continuar con el programa de vigilancia y control a las fuentes móviles en cumplimiento del Decreto 948/95 y la Resolución 005 y 009 de 1996. • Intensificar las estrategias y mecanismos de sensibilización y educación ambiental con respecto a las fuentes móviles, de tal forma que se garantice que llegue a la población objeto en forma idónea. • Crear incentivo dentro de los cuerpos de guardas de Tránsito de los municipios del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, con el fin de fortalecer la capacidad operativa de vigilancia y control en cada

	municipio. • Estudiar la factibilidad técnico – económica de reubicación de rutas en los puntos críticos de alto tráfico vehicular. • Implementar como norma técnica y educativa la Escala de Ringelmann, la cual colorimétricamente determina la opacidad de los vehículos operados con combustible a Diesel. Anexo. • Establecer en el grupo interdisciplinario del programa de Fuentes Móviles la actividad de estudiar la Ley de Bear y establecer el correcto uso de esta en los diferentes opacimetros de los centros de verificación ambiental a las Fuentes Móviles.
Realizado por	Área Metropolitana del Valle de Aburrá – Ing. Mecánico Jorge A. García Gómez

Nombre del proyecto	**Realizar el control y seguimiento de las fuentes móviles y de los diagnósticentros aprobados por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Contrato 864 de 2002**)
Disponibilidad	Centro de información y documentación Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Medio físico
Referencia	A02 0260
Objetivos	**General** Realizar el control y seguimiento de las fuentes móviles y de los diagnosticentros aprobados por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá **Específicos** Realizar 450 visitas de inspección a los centros de diagnostico aprobados para la revisión de emisiones de gases contaminantes a las fuentes móviles. Tramitar las solicitudes de aprobación y renovación de los Centros de diagnósticos para la verificación de las fuentes móviles. Coordinar el monitoreo control y vigilancia de las fuentes móviles en circulación del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Adelantar procesos sancionatorios a los centros de diagnostico aprobados por las infracciones a la resolución de aprobación y las resoluciones 005 y 909 de 1996. Proponer acciones correctivas frente al grado de contaminación generada por fuentes móviles. Proponer estrategias que confluyan al mejoramiento de la calidad del aire desde la problemática de la contaminación vehicular. Realizar acompañamiento y seguimiento a los diferentes Municipios de la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá con respecto a la aplicación de la política ambiental en todo lo relacionado con las fuentes móviles.

	Atención de quejas de los usuarios de fuentes móviles. Diseñar estrategias para lograr mayor cobertura de vehículos revisados por año. Realizar 150 operativos de control del Área Metropolitana y conjuntos. La Entidad suministrará un operario y la unidad móvil con su conductor. Apoyar el grupo aire en cuanto al manejo de ese recurso; que involucre la convergencia de las fuentes móviles. Realizar 4 talleres de divulgación de la legislación y del programa de fuentes móviles del Área Metropolitana. Apoyar la sensibilización y educación ambiental en materia de fuentes móviles. Apoyar el seguimiento y control de las fuentes fijas del Municipio de Itagüí como contribución a la definición de este municipio como área fuente de contaminación. Evaluar estadísticamente la información resultante del análisis de emisiones por el exhosto, para vehículos a gasolina y diesel, reportados por los centros de diagnóstico y los resultados de los operativos en vías de acuerdo con los lineamientos de la interventoría
Contaminantes y/o efectos estudiados	Monóxido de carbono (CO) e Hidrocarburos
Metodología: • **Datos de origen** • **Muestreo** • **Tipo de análisis**	Durante el período comprendido entre 25 de julio de 2002 y el 11 de marzo de 2003, se efectuaron visitas de seguimiento, monitoreo y control a los diagnosticentros que cuentan con la aprobación del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, para la verificación de la prueba de emisión de gases de las fuentes móviles que circulen o residan en Área Metropolitana. Durante las visitas se verificó: • Calibración interna de los equipos. • Estado y funcionamiento de los sensores. • Kit de revoluciones y temperatura. • Verificación de los estándares. • Personal idóneo en cada diagnosticentro. • Control y seguimiento a la expedición del carnet por parte de los centros de diagnostico. • Área locativa destinada para el servicio. • Verificación de los diferentes requisitos establecidos en los informes técnicos y resolución de aprobación a cada centro. Se coordinaron ciento setenta y cinco (175) operativos en los cuales se verificaron vehículos en las diferentes vías de los Municipios de Itagüí, Sabaneta, Caldas, La Estrella, Medellín, Girardota, Copacabana y Bello. Entre el 25 de julio de 2002 y el 24 de febrero de 2003 se realizaron 171 operativos de control.
Resultados	En el documento se encuentra un listado con los 513 diagnosticentros y/o unidades móviles aprobados, 14 visitas de preinspección locativa a establecimientos pendientes de aprobación, 15 visitas de renovación de

	aprobación. De las visitas de inspección a los centros se presenta un listado de requerimientos para algunos centros de diagnóstico. Se proponen acciones correctivas frente al grado de contaminación generada por fuentes móviles. Una de las estrategias que se propone para el mejoramiento de la calidad del aire es la obligatoriedad de la verificación del parque automotor de servicio público cada seis meses. Se presentan cuadros con los operativos de vigilancia y control.
Conclusiones	De los reportes realizados por los Diagnosticentros, donde se específica los vehículos que pasaron la prueba y se certificaron, es de anotar que este Parque Automotor, cuando se acerca a un centro de diagnóstico para adquirir el certificado que lo acredita cumpliendo las normas mínimas de emisión de gases de combustión; en general está preparado el vehículo para que pase dicha prueba, es por esto que el análisis por vehículo reprobando emisión de CO y/o HC no es variable de peso. En los operativos de vigilancia y control realizados en los municipios que conforman el Área Metropolitana del Valle de Aburrá con énfasis en las vías de mayor circulación y vías arteriales que sirven de cruce para otras regiones, nos dan un gran aporte del comportamiento de la combustión interna de todas las fuentes móviles que circulan por esta jurisdicción. De los resultados obtenidos, es predominante los modelos 1981 – 1990, con mayor cantidad de vehículos circulando y con relevancia superan las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos. De los operativos de vigilancia y control discriminados por municipios se observa: El mayor número de vehículos circulando están entre los modelos 1981 – 1990 y 1991 – 1995. En el Municipio de Bello es relevante el parque automotor mayor de 20 años circulando por la zona norte de la jurisdicción del Área Metropolitana del Vallé de Aburrá: Un 33% de los vehículos verificados son modelos 1980 y anteriores. Un 36.76% de los vehículos verificados son modelo 1981 – 1990. En el Municipio de Medellín e Itagüí, es notable el parque automotor mayor de 20 años en circulación por la zona centro y sur respectivamente. En Medellín el 36.4% de los vehículos verificados son modelo 1981 – 1980. En el Municipio de Caldas se verificaron un total de 379 vehículos de los cuales un 35% son vehículos con 20 años de circulación, en los que se determinó mayor porcentaje de emisión de monóxido de carbono e hidrocarburos. Los vehículos circulando en la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá Modelos 1998 y posteriores es la población más baja, además de ser lo que menos aporta contaminación al recurso aire. El parque automotor con más de 20 de años que circula en la jurisdicción Área Metropolitana del Valle de Aburrá, son los que presentaron mayor número de vehículos rechazados por hidrocarburos.

	En los municipios Frontera en zona norte (Bello, Copacabana) y Caldas en la zona sur, es determinante el parque automotor mayor de 20 años. Los vehículos de modelos 1981 a 1990 son los que presentaron mayor contaminación de monóxido de carbono e hidrocarburos. De 5522 vehículos verificados se determinó concentración de monóxido de carbono superando la norma en el 63.45% (Modelos 1981 a 1990) de las fuentes móviles circulando en la jurisdicción Área Metropolitana del Valle de Aburrá y predominando las emisiones de hidrocarburos emitidos a la atmósfera. El 48.7% de las fuentes móviles verificadas superaban el estándar de emisión de monóxido de carbono y/o hidrocarburos para el modelo determinado en la Resolución 005 de 1995 del Ministerio del Medio Ambiente. De 1809 vehículos entre modelos 1981 y 1990, el 24.4% superan la norma de monóxido de carbono y el 23% superan la norma de hidrocarburos. De un total de 5522 vehículos verificados el 33% corresponden al Municipio de Medellín, predominando los vehículos modelos 1981 – 1995, equivalentes al 59.9% (1092 vehículos), los cuales superaron la norma de emisión para monóxido de carbono e hidrocarburos en 30.9% y 14.8%. De un total de vehículos verificados en las diferentes vías del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, se observa el predominio de vehículos en circulación modelo 1981 a 1995, los cuales determinan la emisión predominante de monóxido de carbono a la atmósfera
Recomendaciones	Implementar en los centros de diagnóstico aprobados por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Unidades Móviles, un software único de operación para los diferentes equipos que miden las emisiones a las Fuentes Móviles a Diesel y Gasolina, de tal forma que se garantice un reporte único de la prueba, condiciones estándar de verificación que garanticen una mayor confiabilidad de la prueba realizada. Adoptar como estándares de emisión para concentración de monóxido de carbono e hidrocarburos los resultados de la Tabla No.2 de la actividad 2.2.8. Realizar un inventario de emisiones de fuentes móviles para estimar la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera en las áreas donde se realizan operativos de vigilancia y control acorde con las estaciones de la red de calidad del aire. Establecer en la red de calidad del aire medidores de monóxido de carbono e hidrocarburos en los sitios de mayor circulación o influencia en el acceso de tráfico vehicular, de tal forma que se confronte la contaminación generado por combustión interna en emisión e inmisión. Adquirir un kit de gases de calibración, un kit de calibración de temperatura y un kit de calibración de opacidad para mayor control de los equipos que realizan la verificación a las Fuentes Móviles en los Centros de Verificación Ambiental.

	Establecer de carácter permanente el análisis estadístico de la información tomada en los operativos de vigilancia y control para determinar el análisis puntual por zona y/o área. Usar la herramienta de factores de emisión para determinar la calidad del aire por las Fuentes Móviles en los sitios de los operativos en tiempo real. Adquirir, alquilar o establecer un convenio para disponer de otra unidad móvil y los técnicos requeridos con el fin de ampliar la cobertura de vigilancia y control a las fuentes móviles que circulan por la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Continuar con el programa de vigilancia y control a las fuentes móviles en cumplimiento del Decreto 948/95 y la Resolución 005 y 009 de 1996. Intensificar las estrategias y mecanismos de sensibilización y educación ambiental con respecto a las fuentes móviles, de tal forma que se garantice que llegue a la población objeto en forma idónea. Crear incentivo dentro de los cuerpos de guardas de Tránsito de los diferentes municipios del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, con el fin de fortalecer la capacidad operativa de vigilancia y control en cada municipio. Estudiar la factibilidad técnico – económica de reubicación de rutas en los puntos críticos de alto tráfico vehicular. Implementar como norma técnica y educativa la Escala de Ringelmann, la cual colorimétricamente determina la opacidad de los vehículos operados con combustible a Diesel.
Realizado por	Área Metropolitana del Valle de Aburrá – el grupo de trabajo estuvo conformado por la Abogada Adriana Salas, la Contadora Bianedt Zapata, la Química Maria Edilia Arboleda y el interventor Juan Fredy Sanchéz.

Nombre del proyecto	**La Calidad del Aire es Cuestión de Todos**
Ubicación	Centro de información y documentación Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
Disponibilidad	Medio físico
Referencia	A02 0240
Realizaron el proyecto	Área Metropolitana del Valle de Aburrá
Resumen	"La Calidad del Aire es Cuestión de Todos", es una publicación elaborada por el Área Metropolitana el Valle de Aburrá, que contó con el apoyo de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá, con el fin de difundir y dar a conocer de manera didáctica las acciones que desarrolla el Área metropolitana del Valle de Aburrá, como autoridad ambiental, para cuidar la calidad del aire que respiramos. La información se presenta en tipo cartilla de historietas, diseñada especialmente para el público infantil, pero es su lenguaje claro e ilustrativo el que permite que la información pueda ser asimilada por todo tipo de lector, desde los más jóvenes hasta los de edades mas avanzadas. Por medio de una serie de diálogos e ilustraciones, el lector aprenderá a identificar los componentes y contaminantes del aire, las principales fuentes emisoras de contaminantes y los controles de emisiones respectivos; como es el caso de las revisiones periódicas que deben hacer quienes tienen vehículos, para garantizar que estén en buen estado. Igualmente, se explican las actividades que realizan la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire y como funcionan los equipos que registran la contaminación en el Valle de Aburrá. Además, el texto expresa de manera clara y sencilla las actividades que realizan entidades como el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la Secretaria de Transito, encargadas de cuidar la calidad del aire que respiramos y velar por el cumplimiento de las normas que permiten un aire limpio. También se explican los tipos de contaminantes que encontramos en el aire, como el CO, CO_2, NO_x, SO_x, su procedencia y su posible formación en la atmósfera, como es el caso del ozono, el cual se forma por reacciones entre otros contaminantes y la incidencia de los rayos ultra violeta (UV) provenientes del sol. Es importante aclarar que el contacto continuado con las diferentes sustancias contaminantes del ambiente presenta serias implicaciones en la salud y en la calidad de vida de los habitantes del Valle de Aburrá. Los estudios han demostrado que las principales enfermedades causadas por la contaminación atmosférica son la irritación en los ojos y nariz, problemas respiratorios, enfermedades cardíacas, además, se atribuyen algunas infecciones por hongos y enfermedades bacterianas. Finalmente, de manera esquemática se enseña la ubicación de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire, las cuales están distribuidas a lo largo del Valle de Aburrá, y su respectivo índice de la calidad del aire en el sitio de muestreo.

Nombre del proyecto	**Identificación de alternativas para el análisis de contaminantes ambientales en el Valle de Aburrá (contrato no 240/1999)**
Disponibilidad	Centro de información y documentación del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Medio Físico)
Referencia	A10 0221 – t. 3
Objetivos	Determinar la alternativa más viable para suplir las necesidades de laboratorio ambiental para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, en el cual se puedan realizar los análisis para los recursos agua, aire y suelo, de tal forma que el AMVA como autoridad ambiental, ejerza sus funciones de monitoreo, seguimiento, control, vigilancia, y conservación de los recursos naturales en el área de su jurisdicción.
Contaminantes y/o efectos estudiados	Estudio de viabilidad
Metodología: • **Datos de origen** • **Muestreo** • **Tipo de análisis**	El proyecto se divide en tres fases. En la primera fase, se establecieron las necesidades del Área Metropolitana del Valle de Aburrá acerca de cuales y cuantos parámetros se deben medir para los tres recursos y cual sería su costo a partir de su propio laboratorio o contratando estos servicios con los existentes en la región, principalmente en las universidades.
Resultados	Establecidas las necesidades con base en las fuentes a vigilar y controlar y a los tres recursos (agua, aire y suelo) que se deben valorar y monitorear regularmente, se estableció la oferta instalada en el Departamento para suplir la necesidad de la Autoridad Ambiental, en caso de estructurar y financiar un programa de esta naturaleza, como única forma de proyectar su recuperación, uso racional y conservación en el tiempo. Esta primera fase contiene tres grandes actividades: • La identificación y selección de los parámetros básicos • La selección de la infraestructura de laboratorio • Los costos para la dotación de laboratorio La segunda y tercera fase corresponden a la prefactibilidad y factibilidad del análisis de las alternativas para contaminantes ambientales en el Valle de Aburrá, formulando las diferentes posibilidades, su análisis, y selección de la mejor, calificada de acuerdo con los indicadores diseñados para este fin. La alternativa recomendada finalmente se hace considerando los factores económicos, técnicos e institucionales que definen su pertenencia y oportunidad conforme a las demandas que se estarían generando a partir de la planeación y programación del monitoreo, seguimiento, control y

	vigilancia de los recursos agua, aire, y suelo en el Valle de Aburrá. Para llegar a la formulación del grupo de alternativas, se ha resumido el escenario básico, sobre el que se fundamentan las necesidades del laboratorio; es decir, tanto los parámetros a determinar en cada recurso, como el número de puntos de muestreo y la frecuencia mensual con que ellos se proyectan. Se estructuraron seis alternativas, que tienen un escenario común de comparación, las cuales son calificadas a través de una matriz, con cuatro componentes: la funcionalidad técnica de cada una de ellas, su correspondencia con el desarrollo institucional, su análisis económico – financiero y los beneficios ambientales y sociales que de ellas se espera. La alternativa recomendada se desarrolla en sus aspectos estratégicos y de gestión integral dentro de la Institución, tendiendo como referencia principal el modelo de Gestión Ambiental aplicado por la unión temporal Biotopo – Perini.
Conclusiones	La alternativa seleccionada y recomendada, para realizar el análisis de contaminantes ambientales en el Área Metropolitana, es aquella en la cual la autoridad ambiental debe contratar con empresa o institución, como la Universidad, las etapas de muestreo, análisis e interpretación de los resultados de laboratorio, ya sea en forma conjunta o individual.
Realizado por	Área Metropolitana del Valle de Aburrá – Corantioquia - INGEAMBIENTE Ltda. Y SANEAR Ltda

Nombre del proyecto	**Evaluar Los Niveles De Contaminación Del Aire En Las Zonas Urbanas Del Valle de Aburrá Mediante La Operación De La Red De Monitoreo De La Calidad Del Aire En El Valle de Aburrá. (Convenio 538/2004)**
Disponibilidad	Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Medio magnético)
Objetivos	**General** Evaluar los niveles de contaminación del aire en las zonas urbanas del valle de Aburrá mediante la operación de la red de monitoreo de calidad del aire. **Específicos** • Apoyar el Área Metropolitana del valle de Aburrá como Autoridad Ambiental en el desarrollo del proyecto de Monitoreo de la calidad del aire en los municipios de la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá-Red de Aire. • Operar y efectuar mantenimiento preventivo y correctivo a los equipos de monitoreo de contaminantes atmosféricos existentes en la Jurisdicción del AMVA. • Analizar la información de los monitoreos efectuados de manera que posibilite la planeación y reglamentación del uso del recurso aire. • Divulgar los resultados del monitoreo de la calidad del aire.
Contaminantes y/o efectos estudiados	Partículas suspendidas totales (PST), dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno (tres Gases), partículas menores de 10 micras (PM_{10}), monóxido de carbono, lluvia ácida, ozono y variables meteorológicas.
Metodología: • **Datos de origen** • **Muestreo** • **Tipo de análisis**	Se operaron 15 equipos medidores de partículas suspendidas totales (PST), 6 medidores de dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno (tres Gases), 3 equipos medidores de partículas menores de 10 micras (PM_{10}), 3 medidores automáticos de monóxido de carbono, 2 medidores de lluvia ácida, un equipo medidor de ozono y una estación meteorológica ubicada en la planta San Fernando, sector de guayabal. Dentro de estos equipos están incluidos los medidores de la estación Corantioquia (partículas PM_{10}) y la estación Bello (partículas suspendidas totales y tres gases) que se instalaron el 21 de junio y el 03 de agosto de 2006, respectivamente.
Resultados	Los resultados del promedio geométrico de PST indican que en las estaciones Miguel de Aguinaga, Guayabal 1, Itagüí, Politécnico y Universidad Nacional (Facultad de Minas) se supera la norma ambiental de 100 $\mu g/m^3$ establecido en la legislación Colombiana (Decreto 02/1982), pero con concentraciones muy cercanas a dicha norma ambiental. Las estaciones con promedios inferiores a la norma anual son Envigado, Girardota Liceo y

	Universidad Pontificia Bolivariana. En ninguna estación se ha superado la norma diaria de los 400 µg/m^3 (Decreto 02/1982). Los resultados de material particulado respirable (PM10) presentan valores donde se supera la norma establecida en Estados Unidos, 50 µg/m^3, en las estaciones Corantioquia, Guayabal y Miguel de Aguinaga. La norma Colombiana no tiene límites permisibles para este parámetro y es necesario comparar los resultados obtenidos con la norma de los Estados Unidos. Los resultados de dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_2) y monóxido de carbono (CO) muestran concentraciones muy bajas de estos gases, en promedios aritméticos. Ninguno de estos resultados sobrepasa la norma diaria ni la norma anual. Todas las mediciones de pH de las aguas lluvias recolectadas en el medidor de la Facultad de Minas, son inferiores a 5.6, indicativo de la existencia de lluvia ácida moderada. La norma Colombiana no establece límites permisibles de pH para establecer valores lluvia ácida.
Conclusiones y Recomendaciones	• Los resultados del promedio geométrico de PST durante el primer semestre del 2005 indican que en las estaciones Miguel de Aguinaga, Guayabal 1, Itagüí, Politécnico y Universidad Nacional (Facultad de Minas) se supera la norma ambiental de 100 µg/m^3 establecido en la legislación Colombiana (Decreto 02/1982), pero con concentraciones muy cercanas a dicha norma ambiental. Las estaciones con promedios inferiores a la norma anual son Envigado, Girardota Liceo y Universidad Pontificia Bolivariana. En ninguna estación se ha superado la norma diaria de los 400 µg/m^3 (Decreto 02/1982). • Los procesos de construcción han reflejado aumentos de las concentraciones de partículas en las estaciones Copacabana y Caldas. Se recomienda hacer un mayor control ambiental a estos tipos de obras, en especial se debe localizar monitores cerca de las obras para hacer seguimiento a su impacto ambiental en la calidad del aire. • De acuerdo con el Índice de Calidad ambiental, ICA, definido para el Valle de Aburrá, todas las estaciones se encuentran en una categoría atmosférica entre Buena y Aceptable en el 100 % de los datos. Según esta categorización atmosférica, se puede concluir que el Valle de Aburrá no tiene problemas serios de contaminación de aire por PST. • Los resultados de material particulado respirable (PM10) siguen presentando la misma tendencia de los meses anteriores, donde se supera la norma establecida en Estados Unidos, 50 µg/m^3, en las estaciones Corantioquia (que suspendió monitoreos entre el 02 de marzo y el 30 de abril por trabajos de construcción en la terraza donde está ubicado el equipo), Guayabal y Miguel de Aguinaga. Es necesario que la ciudad intensifique la monitoría de este tipo de contaminantes y en especial que se desarrollen normas para su control. • Los resultados de dióxido de azufre (SO_2) y óxidos de nitrógeno (NO_2) siguen mostrando unas concentraciones muy bajas de estos gases, en

	promedios aritméticos, aunque son superiores los óxidos de nitrógeno. Ninguno de estos resultados sobrepasa la norma diaria de los 400 µg/m^3 ni la norma anual de los 100 µg/m^3 (Decreto 02/1982). Según estos resultados, podemos concluir que en el Valle de Aburrá no tenemos problemas graves de contaminación de aire por dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno. Pero se debe tener en cuenta que los óxidos de nitrógeno son precursores de Ozono y que se han detectado eventos de incumplimiento de estándares de calidad del aire con el Ozono. • Los resultados de monóxido de carbono en las tres estaciones no presentan niveles que superen la norma ambiental, aunque en el sector del Edificio Nuevo Centro La Alpujarra y el Edificio Miguel de Aguinaga se presentan algunas concentraciones entre 10 y 14 ppm en horas del medio día. Hace falta tener series de datos mas largas para definir si se trata de efectos climáticos o de cambios en los flujos vehiculares los que generan las variaciones de los resultados con el tiempo. • La implementación de la medida del pico y placa en Medellín y otros municipios del Valle de Aburrá, desde febrero de este año, no ha reflejado hasta ahora disminución en los niveles de contaminación de aire en las estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá. • Todas las mediciones de pH de las aguas lluvias recolectadas en el medidor de la Facultad de Minas, son inferiores a 5.6, lo que indica que en este sector tenemos presencia de lluvia ligeramente ácida, quizá debido al lavado de CO y CO_2 que se hace con la lluvia. • El comportamiento de las concentraciones promedio mensual de las PST en el primer semestre del 2005 muy similar al comportamiento encontrado en los años 2001, 2002, 2003 y 2004, en su primer semestre, donde se destacan unas concentraciones pico en el mes de marzo. Adicionalmente, este comportamiento es muy similar entre las estaciones ubicadas en los municipios que implementaron la medida del “pico y placa”, como el municipio de Medellín donde están ubicadas las estaciones de las cinco Universidades que pertenecen al Convenio de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá, comparadas con estaciones ubicadas en municipios que no han implementado la medida, tal es el caso de Barbosa y Girardota en el norte del Valle de Aburrá y Sabaneta, La estrella e Itagüí en el sur del Valle de Aburrá.
Realizado por	Área Metropolitana del Valle De Aburrá - Universidad Nacional De Colombia. Carmen Elena Zapata Sánchez., Msc., Directora Administrativa

Nombre del proyecto	**Estudio de la Formación de Contaminantes Fotoquímicos Mediante la Modelización Matemática y Sus Efectos En La Salud (Contrato 340 de 2001)**
Disponibilidad	Centro de información y documentación Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Medio físico
Referencia	A02 0209
Objetivos	**General** El objetivo general de este trabajo fue conocer la formación y el transporte de contaminantes fotoquímicos mediante un modelo de pronóstico a mesoescala y un modelo de dispersión fotoquímico Euleriano en el Valle de Aburrá (Medellín, Colombia), donde la topografía compleja, formada por la cordillera de los Andes, proporciona unas condiciones adversas para la dispersión de contaminantes atmosféricos. **Específicos** Determinación de las emisiones de especies químicas, tanto orgánicas como inorgánicas, que provienen de las fuentes antropogénicas debidas al transporte y a los procesos productivos; y las emisiones biogénicas provenientes de la vegetación, adaptando los métodos de la EPA y de CORINAIR al medio real de estudio. Identificación del campo de vientos o líneas de transporte en una región con una topografía compleja y con características meteorológicas de una región tropical. Simulación y conocimiento de la contaminación fotoquímica en la troposfera de una zona urbana y, en particular, del Valle de Aburrá (Medellín, Colombia) para un día típico. Verificar el mecanismo de reacción obtenido en la simulación, mediante la correlación de estos resultados con los datos de la calidad del aire. Establecer la relación epidemiológica existente entre las concentraciones de contaminantes en el aire y enfermedades alérgicas y respiratorias.
Contaminantes y/o efectos estudiados	Para la modelación matemática se estudiaron: óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, ozono y variables meteorológicas. Para el estudio epidemiológico se tuvieron en cuenta: SO_2, NO_x, CO O_3 y PM_{10} y las siguientes enfermedades respiratorias y alergias: asma, rinitis y eczema
Metodología: • **Datos de origen** • **Muestreo** • **Tipo de análisis**	Para el estudio de la calidad del aire se utilizó una estación móvil automática, provista con equipos de monitoreo on-line para el análisis de CO, SO_2, SO_3, NO_x, partículas respirables y parámetros meteorológicos, tales como, dirección y velocidad del viento, radiación solar, presión atmosférica y temperatura.

La estimación de emisiones se realizó mediante el uso de factores de emisión (valores medios que relacionan la cantidad de contaminante emitido hacia la atmósfera con la actividad asociada a la emisión de contaminante).

El propósito del inventario fue utilizarlo como base de datos para la modelización de la formación de ozono en el Valle de Aburrá, para lo cual se definió un área de 40 x 40 km2 con una resolución espacial de 1 x 1 km2, donde están localizados los 10 municipios que conforman el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Metodología para el tráfico rodado

Los datos necesarios se obtuvieron de las Secretarías de tráfico rodado y transporte de los municipios de Medellín, Bello, Itagüí y Envigado, así como, del departamento Administrativo de Planeación Metropolitana y del Fondo de Prevención Vial y Nacional. La información utilizada en la red de aforos corresponde a los años 1997 a 2000. Los aforos con los que se trabajó fueron obtenidos a partir de equipos de aforo manual y automático.

Metodología para las emisiones biogénicas

Para la estimación de las emisiones debidas a la vegetación, se utilizo el modelo definido por Guenther et al. (1993) (Modelo G93). Este modelo se adapta para a las condiciones del área de estudio utilizando la ecuación

$$E_i = \sum_{j=1}^{n} (LAI_i * I_{\ddot{y}} * A_i)$$

Donde el flujo de emisión (µg/m^3) para el contaminante i y de la especie vegetal j (E_{ij}), es calculado a partir de la sumatoria del producto entre: el índice del área de la hoja (leaf Area Index) expresado como m^2 de hoja seca por m^2 de uso de suelo (LAI_j), por el factor de emisión del componente i y la especia j expresado como µg por m^2 de hoja seca por hora (I_{ij}), por el área en m^2 que ocupa la especie j (A_j).

Para definir los tipos de usos del suelo: el dominio cubre un área de 40 x 40 km^2. En cada celda, se identificó el uso del suelo, determinando el porcentaje ocupado por bosques (coníferas y eucaliptos), cultivos (maíz, fríjol, café, caña, patata, flores y frutales) y matorrales (bosque alto).

Una vez realizada la malla de distribución de usos del suelo, se procedió al cálculo de la emisión de cada uno de los tipos de vegetación antes mencionadas, durante 24 horas del día. Para esto, se utilizó el modelo G93.

Metodología para las emisiones industriales

La estimación de las emisiones industriales para el área de estudio se realizó por dos métodos diferentes: monitoreos directos en la chimenea y por factores de emisión.

Los monitoreos se extrajeron de los archivos del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Estos fueron realizados por la Universidad de Antioquia, Ingeaire y Universidad Pontificia Bolivariana, para el periodo comprendido entre 1995 y 1999. Los registros presentan las emisiones de material

	particulado, los óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno. Las fuentes para las cuales no se encontró datos de monitoreos se calcularon utilizando los factores de emisión de la Environmental Protection Agency (AP42). Estos factores relacionan la cantidad de contaminante emitido con la cantidad de producto o de combustible consumido. En total se tomaron 503 datos de fuentes recolectadas, que permiten caracterizar la industria en el Valle. Se observa que los municipios con mayor densidad industrial son Medellín, Itagüí y Sabaneta, representados en su mayoría, por los sectores textil, químico, metalmecánico y alimenticio. **Aplicación de los modelos meteorológico y fotoquímico.** Los modelos pueden ser divididos, de forma general, en dos tipos; físicos y matemáticos. Los primeros se utilizan para simular procesos ambientales en representaciones a pequeña escala del sistema actual. Los segundos proporcionan una serie de algoritmos que describen las interacciones y procesos atmosféricos. Esta clase de modelos están compuestos básicamente por el tipo de emisión, transporte y transformaciones fisicoquímicas, el monitoreo ambiental, los experimentos de laboratorio y la modelización. Esta actividad científica es la que da el acercamiento al conocimiento de los procesos atmosféricos. El modelo EUMAC Zooming (EZM) es un conjunto de modelos para simulación del flujo del viento, transporte y transformación de los contaminantes en una escala local o regional. Los modelos principales son el modelo mesoescala no hidrostático MEMO y el modelo de dispersión fotoquímico MARS. Otros modelos que constituyen el EZM son el CONDOR, que es un modelo de diagnóstico de viento utilizado para inicializar MEMO y, el LAPMOD, el cual es un modelo Lagrangiano. El modelo MEMO es un modelo meteorológico de mesoescala no hidrostático que describe la dinámica de la capa límite atmosférico, y resuelve las ecuaciones de conservación de masa de aire, movimiento y energía. De la resolución de estas ecuaciones, derivan variables tan importantes como, temperatura potencial y energía cinética turbulenta. Para encontrar la variación del campo de concentraciones de contaminantes se utiliza el modelo de dispersión atmosférica para especies reactivas MARS. Las épocas elegidas para las simulaciones cumplían con el requerimiento de ocurrencia de episodios de alta concentración de ozono durante el día, y altas concentraciones de óxidos de nitrógeno y, que a su vez, mostraron condiciones meteorológicas típicas de la región. Adicionalmente, en los días previos a estos escenarios, hubo evento de lluvias, lo que contribuiría en principio a crear unas condiciones inicial es de background nulo en las concentraciones de ozono. Los días seleccionados para realizar el estudio fueron: 26 de Octubre de 1999, 26 de diciembre de 1999 y 15 de marzo de 2000. Para generar el estado inicial se utilizaron datos de temperatura y

	velocidad del viento, los cuales se obtuvieron de estaciones superficiales y de sondeos verticales de temperatura y velocidad del viento a diferentes alturas. Para simular la concentración de compuestos fotoquímicos, en el aire del Valle de Aburrá, mediante el modelo MARS, la zona de estudio se restringió a un cuadrado centrado aproximadamente en la ciudad de Medellín. Se tuvo en cuenta parámetros como el número de capas verticales, número de celdas, la altura máxima en la vertical, el número de reacciones fotoquímicas, entre otras; y la solución numérica con el modelo de dispersión fotoquímico MARS y el mecanismo fotoquímico EMOP, se llevo a cabo en un ordenador Pentium II 800Mhz, con sistema operativo Linux, siendo el tiempo de ejecución, para un día de simulación, aproximadamente de unas 48 horas Por supuesto, para dar inicio a las simulaciones es necesario ingresar una serie de datos o información semilla a los modelos; tales como, la topografía, el tipo de superficie, datos meteorológicos y datos de las emisiones de contaminantes, del Valle de Aburrá. **Estudio de impacto epidemiológico** Se realizó un estudio de comparación estadística simple (Montgomery, 1991), con base en información epidemiológica ya existente, a partir del estudio *"Prevalencia de asma y otras enfermedades alérgicas: estudio en la población Colombiana"* en el cual se aplicó en cuestionario estandarizado ISAAC para determinar la prevalencia de asma, rinitis y eczema de la población asentada en las principales ciudades capitales de Colombia. En Medellín se realizaron más de mil encuestas (repartidas en las 16 comunas de Medellín) en casas cercanas a escuelas públicas y privadas, cantidad necesaria y suficiente para la validez estadística. Debido a la sectorización y a las fechas de las encuestas realizadas y a los sitios monitoreados con la estación automática de calidad del aire durante la ejecución del proyecto. Los datos disponibles correspondieron a 90 días continuos en cada estación que para el caso se escogieron como representativos los registros obtenidos en el sector U.P.B (Laureles) y plaza Mayorista (Guayabal).
Resultados	En la generación del inventario de emisiones se consideraron las siguientes fuentes de emisión: • Tráfico rodado en las principales avenidas y calles y el corredor del río Medellín. • 503 focos industriales de diversos sectores (químico, textil, alimenticio, etc.) • 9 tipos de vegetación. Las cantidades totales anuales emitidas son 73.878 ton procedentes del tráfico rodado donde el 71% corresponden a CO, el 11% a NOx, el 17% a COV y el resto a partículas suspendidas y SO2. Las industrias, la segunda fuente emite un total de 69028 ton, son las mayores aportantes de partículas suspendidas y SO2. Por ultimo, las fuentes biogénicas aportan en su mayoría COV aunque solo es el 5% del total emitido por todas las

	fuentes anualmente. La cantidad total de gases emitidos donde la afección a los receptores es directa es de 81596 ton/año. Al igual que en el inventario total, el CO es el mayor contribuyente, seguido por los COV como el propano. En las capas atmosféricas superiores (aprox 300 m.s.n.m) hasta donde alcanzan a llegar los gases, la cantidad total de contaminantes es de 67660 ton/año. Los gases liberados (COV) por la vegetación en el área de estudio se concentran en su mayoría en los bosques cercanos a Caldas (parque natural) y en la zona de Piedras Blancas en Santa Elena. Las emisiones alcanzan los 14 kg/h a las 13h en cada celda. En las emisiones de COV para las 503 fuentes puntuales estudiadas se observa que la emisión máxima es de 160 kg/h y su mayor densidad se presenta en el sur del Valle. De la aplicación del modelo meteorológico MEMO, se puede decir que la simulación muestra el efecto del calentamiento de la superficie terrestre, debida a la radiación solar en las laderas occidentales de la cordillera durante la mañana y luego desplazándose hacia el occidente en el resto del día. Este calentamiento en las horas del medio día, origina una turbulencia de una anchura de casi 4 km, provocando movimientos convectivos del aire que hacen que este ascienda sobre las laderas de las montañas y confluyan en fuertes vientos en la cima. Las mediciones muestran una muy baja velocidad durante todo el periodo de la simulación, dejando dudas a cerca de la validez de los valores medidos. La media horaria de la velocidad del viento mayor de 1m/s ocurre dos veces (a las 5 y 18h). En ambos casos los valores fueron 1.2 m/s, los valores pronosticados por el MEMO, varían entre 1 y 4 m/s. De la aplicación del modelo de dispersión atmosférica para especies reactivas MARS se obtuvo: Para octubre las medidas de NO y O3 procedentes de la estación móvil que estuvo ubicada desde el día 25/10/99 al día 27/10/99 en el municipio de Caldas. Los valores de concentración ofrecidos por el modelo en este punto fueron: 8 ppm de NO (a las 6h) y 72 ppm O3 (a las 16h), por su parte, los valores observados en las mediciones esas mismas horas fueron: 44 ppm NO (a las 6h) y 72 ppm O3 (a las 16h). El valor de ozono obtenido por el modelo coincide perfectamente con el observado, en cambio el de NO es más bajo. Los resultados de las simulaciones se muestran en figuras no posibles de adjuntar en este resumen, por lo que se sugiere dar una mirada mas detallada al documento.
Conclusiones	• La caracterización meteorológica del Valle de Aburrá se realizó a partir de la información suministrada por el IDEAM, la cual se utilizó para la

	selección del día a simular. El día 26 de octubre presentó situaciones meteorológicas como son: baja velocidad del viento, alta radiación solar y de la estación de monitoreo de la calidad del aire se evidencio un episodio de alta contaminación por compuestos fotoquímicos por lo que se eligió como escenario para realizar las simulaciones. • Del análisis de los datos de inmisión de CO, NO, NO_2 y O_3 en la estación situada en Caldas se concluye que las máximas concentraciones de ozono se presentan el medio día cuando la radiación solar es mayor y las reacciones fotoquímicas tienen lugar. • La concentración de las inmisiones ocurre en la zona central del Valle en el centro de Medellín y en la zona residencial localizada al occidente por los barrios de Conquistadores y Belén. • El CO es el contaminante con mayor emisión en el Valle. Las emisiones son básicamente debidas a los vehículos que son causadas por la deficiente combustión vehicular en las horas de lata congestión (7-8 H y 18-19h). • Se observo como en las horas diurnas se incrementa la liberación de gases por parte de la vegetación, debido a su relación con la temperatura y la radiación solar. Las emisiones de las industrias se mantienen constante, ya que se suponen continuas durante un proceso de producción. • El modelo MEMO de pronóstico meteorológico es capaz de predecir el campo de vientos y temperaturas en el Valle de Aburrá, a condición de disponer de buenos datos de sondeo vertical. Asumiendo la hipótesis de representatividad de los datos de la estación de monitoreo, y la subestimación de las emisiones, el modelo MARS ofrece valores comparables de ozono. Aunque se aclara que es necesario verificar los resultados con más puntos de monitoreo. • El modelo EZM (MEMO_MARS) ha sido aplicado a la zona del Valle de Aburrá. Los resultados de la simulación presentaron buena concordancia con los valores observados, estableciéndose una herramienta eficiente para predecir, con alta resolución, el comportamiento de los vientos y la concentración de ozono. • Referente al estudio de correlaciones epidemiológicas, el resultado concluye que no hay una relación estrecha entre la epidemiológica y los niveles de contaminación atmosférica, no es posible establecer un índice de calidad del aire hasta tanto no existan estudios más contundentes. Este trabajo siguiere el diseño de una investigación dedicada exclusivamente a este estudio.
Recomendaciones	No hay recomendaciones en el documento
Realizado por	Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontifica Bolivariana

Nombre del proyecto	**Partículas suspendidas (PST) y partículas respirables (PM10) en el Valle de Aburrá, Colombia. 2000-2001.**
Objetivos	**General** Evaluar la Correlación entre Partículas suspendidas (PST) y partículas respirables (PM10) en el Valle de Aburrá.
Metodología: **Datos de origen.** **Muestreo.** **Tipo de Análisis.**	Para la medición de las concentraciones de material particulado en suspensión se emplearon equipos medidores de partículas suspendidas totales PST Hi-Vol y equipos para medición de partículas respirables, denominados medidores de alto volumen PM10. Durante el período de estudio de la calidad del aire en el Valle de Aburrá se realizaron mediciones de PST y PM10, en 10 estaciones de muestreo; dichos muestreos se realizaron de forma periódica escalonada con el fin de cubrir todos los sitios de muestreo con los equipos disponibles. Selección de sitios de muestreo: Se realizó teniendo en cuenta criterios como densidad demográfica, usos del suelo, dirección de viento, tipos y características de las fuentes más importantes del sector, y los objetivos del estudio. Las mediciones de partículas totales y respirables se realizaron en 10 sitios del Valle de Aburrá el cual se dividió en tres zonas así: Zona Norte (Barbosa y Girardota), Zona centro (Medellín, Copacabana, Bello, Sabaneta e Itagüí) y la zona sur (Caldas y La Estrella), en cada zona se localizaron estaciones en áreas rurales y áreas urbanas. El período de muestreo para la medición de partículas estuvo comprendido entre el 17 de diciembre de 2000 y el 6 de junio de 2001. Durante dicho período se recolectó un total de 91 muestras de PST y PM10, para un total de 182 muestras. Las determinaciones de PST y PM10 se realizaron en 10 estaciones distribuidas de norte a sur, cubriendo zonas urbanas y rurales de los municipios de girardota, Bello, Medellín Itagüí, Sabaneta y Caldas.
Contaminantes y/o efectos estudiados	PM10, PST.
Resultados	El coeficiente de correlación indica que las estaciones de muestreo, excepto Girardota rural y Bello urbana, presentan una relación fuerte entre partículas suspendidas totales y respirables. El estadístico R^2 explica el porcentaje de variabilidad de las PST en función de las PM10. Las estaciones que explican mejor la variabilidad de las PST en función de las PM10 son Medellín sur rural Medellín norte urbana y Caldas urbana. La diferencia entre 100 y R^2 es el porcentaje de variabilidad de las partículas suspendidas totales que no es explicado por las partículas respirables.

Conclusiones	Al analizar la relación PM10 – PST se encontró que las mejores correlaciones estadísticas se localizan en las zonas centro y sur del Valle de Aburrá. Además se observó la tendencia creciente en la relación PM10/PST desde 0.527 en la estación rural de Girardota (norte), hasta 0.813 en la estación urbana Caldas (sur). Se encontró un gradiente en la relación PM10/PST que parece estar relacionado con el régimen de vientos que predominan en el Valle de Aburrá con dirección norte-sur, el cual hace que las partículas más pequeñas migren de norte a sur, incrementando la relación PM10/ PST en la misma dirección. Las mejores correlaciones entre PM10 y PST se presentan en las estaciones Medellín sur rural (0,990970), Medellín norte urbana (0,990150) y Caldas urbana (0,975258). En estas estaciones se podría monitorear un solo contaminante, PST o PM10 y estimar el otro; desde el punto de vista económico es recomendable medir PST y estimar el PM10.

<table>
<tr><td>Nombre del proyecto</td><td>Evaluación de la calidad del aire en la cuenca de la quebrada Altavista. Grupo de investigaciones ambientales, GIA. 2006. UPB.</td></tr>
<tr><td>Objetivos</td><td>General
Evaluar la calidad del aire en la cuenca de la quebrada Altavista.
Específicos
➢ Monitorear la concentración ozono, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, PM10 y óxido de azufre en tiempo real.
➢ Determinar episodios de contaminación atmosférica en las zonas monitoreadas.
➢ Evaluar el estado de la calidad del aire utilizando indicadores.
➢ Observar y analizar la evolución horaria de la concentración de los contaminantes a lo largo del día.
➢ Realizar mediciones de dirección y velocidad el viento, temperatura y radiación solar.</td></tr>
<tr><td>Metodología:

• Datos de origen

• Muestreo

• Tipo de Análisis</td><td>Para el desarrollo de la investigación se dispone de una estación automática de monitoreo de la calidad del aire marca ECOTECH la cual está dotada de los siguientes componentes:

Analizador de Oxidos de Nitrógeno (NO, NO_2, NO_x)
Analizador de Dióxido de Azufre (SO_2)
Analizador de monóxido de Carbono (CO_2)
Analizador de Ozono (O_3)
Sensores de Dirección y Velocidad del Viento
Sensor de Radiación Solar
Sensor de Temperatura Ambiente
Sensor de Humedad Relativa

<table>
<tr><td colspan="2">1.1 Analizador de Oxidos de Nitrógeno (NO, NO_2, NO_x)</td></tr>
<tr><td>Marca</td><td>MonitorLabs</td></tr>
<tr><td>Rango</td><td>0.05 a 20 ppm</td></tr>
<tr><td>Precisión</td><td>0.001ppm</td></tr>
<tr><td>Método de Medición</td><td>Quimiluminiscencia ("Chemiluminescence")</td></tr>
<tr><td>Características Adicionales</td><td>Medición Digital</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td colspan="2">Analizador de Dióxido de Azufre (SO_2)</td></tr>
<tr><td>Marca</td><td>MonitorLabs</td></tr>
<tr><td>Rango</td><td>0.05 a 20 ppm</td></tr>
<tr><td>Precisión</td><td>0.001ppm</td></tr>
<tr><td>Método de Medición</td><td>Fluorescencia</td></tr>
<tr><td>Características Adicionales</td><td>Medición Digital</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td colspan="2">Analizador de monóxido de Carbono (CO)</td></tr>
<tr><td>Marca</td><td>MonitorLabs</td></tr>
<tr><td>Rango</td><td>0.0 a 200 ppm</td></tr>
<tr><td>Precisión</td><td>0.01ppm</td></tr>
<tr><td>Método de Medición</td><td>Absorción IR.</td></tr>
<tr><td>Características Adicionales</td><td>Medición Digital</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td>
<table>
<tr><td colspan="2">Analizador de Ozono (O_3)</td></tr>
<tr><td>Marca</td><td>MonitorLabs</td></tr>
<tr><td>Rango</td><td>0 a 20 ppm</td></tr>
<tr><td>Precisión</td><td>0.001ppm</td></tr>
<tr><td>Método de Medición</td><td>Quimiluminiscencia ("Chemiluminescence")</td></tr>
<tr><td>Características Adicionales</td><td>Medición Digital</td></tr>
</table>
Sitio de monitoreo
La selección de los sitios de monitoreo, se ha realizado por parte de la empresa HOLOS quien decidió el punto teniendo en cuenta las condicionantes del equipo como son el acceso, la seguridad, la energía y la representatividad de las mediciones, por lo que se ha tratado de cumplir con los requisitos de ubicación dictados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos.

El monitoreo inició el 13 de junio a las 13 horas locales y culminó el 27 de junio a las 15 horas.
</td></tr>
<tr><td>Contaminantes y/o efectos estudiados</td><td>Óxidos de Nitrógeno (NO, NO_2, NO_x)
Dióxido de Azufre (SO_2)
monóxido de Carbono (CO)
Ozono (O_3).</td></tr>
<tr><td>Resultados</td><td>Los resultados del monitoreo muestran que las horas de mayor concentración ocurren entre las 7 y las 10 de la mañana, mostrando como el flujo vehicular influye en la cantidad de estos contaminantes en las horas de la mañana. También no hay que descartar la posibilidad de que en la mañana se de inicio a las operaciones productivas que se encuentran en la zona y por lo tanto no se ven valores representativos en la tarde.

Las concentraciones horarias del monóxido de carbono no superan la norma horaria nacional (35 ppm). Los máximos valores medidos se observan a las 9 a.m. de 2.59 ppm y en la tarde aumenta hasta 2.7 ppm.

Promedios diarios de las concentraciones de los gases primarios NOx y SO2. Se nota una baja concentración entre los días 16 y 19 que corresponden a un fin de semana. El 14 y 21 que corresponden a un día miércoles, ocurren máximas concentraciones para los dos gases analizados, sería importante verificar que evento hace que las concentraciones se incrementen en este día en particular. La concentración en los días restantes se mantiene parcialmente constante y se puede concluir que ambos contaminantes no superan la norma diaria nacional (96 y 80 ppm para SO2 y NO2 respectivamente).

Las partículas respirables de la figura 6 muestran que la mayor parte del tiempo monitoreado la concentración se mantuvo alrededor de 40 µg/m3, concentración que no supera el valor máximo permitido por la norma nacional de 150 □g/m3. También se observa que el día 21 de junio miércoles al igual que en los gases se presentan las máximas concentraciones.</td></tr>
</table>

	Analizando e comportamiento del ozono se puede observar que ocurren concentraciones que sobrepasan la norma nacional (61 ppb a condiciones de referencia) en los 11 primeros días. Las máximas concentraciones ocurren el 14, 15, 17 20 y 21 de junio llegando a 202 ppb el día 15 que es el más crítico. El número de veces que se sobrepasa la norma local, es 33 episodios la mayoría en las horas del medio día. La rosa muestra que el viento proviene del oeste con una intensidad entre 1.59 y 3.09 m/s en una 49% del tiempo, un 25 % del tiempo el viento sube por la ladera hacia el Suroeste y el resto del tiempo viene del Este.
Conclusiones	Se puede concluir que la calidad la mayor parte del tiempo es buena (97.7%) pero tiene eventos de calidad inaceptable por ozono (0.5%) inadecuada por ozono un 1.3% del tiempo y mala un 0.5% del tiempo de monitoreo. Valores que no deben pasar desapercibidos pues aunque la cantidad de tiempo con alta concentración es baja los efectos de estas pocas horas pueden causar efectos nocivos en la comunidad y en los materiales.

Nombre del proyecto	**Diseño de la red de monitoreo de la calidad del aire para el municipio de Envigado. Carlos Andrés Hinestroza Gómez, Jorge Luis Murillo Soto. Universidad de Medellín. Facultad de Ingeniería Ambiental. 2003**
Objetivos	**General** Diseñar una red de monitoreo de la calidad del aire para el municipio de Envigado. **Específicos** ➢ Evaluar los niveles de contaminación del aire por (PST, NOx, SOx y CO) en el municipio de Envigado causada por las fuentes móviles y fijas del Área Metropolitana. ➢ Identificar las fuentes de emisión de contaminantes convencionales en el área de interés, tanto móviles como fijas, Clasificarlas y localizarlas geográficamente. ➢ Realizar un análisis de la calidad del aire de tal manera que se pueda determinar la dimensión de la problemática ambiental existente en el Municipio de Envigado. ➢ Establecer los niveles de contaminación a los que la población del Municipio de Envigado está expuesta. ➢ Hacer una modelación de la dispersión de los contaminantes utilizando el programa ISCST3 (Industrial Source Complex 3).
Metodología: **Datos de origen.** **Muestreo.** **Tipo de Análisis.**	Inventario de fuentes fijas. Para la realización de este trabajo se tomaron los datos registrados en el estudio "Evaluación del material particulado en suspensión en el Valle de Aburrá", realizado por la Universidad de Medellín y la Universidad de Antioquia para el Área Metropolitana de Medellín. Inventario de fuentes móviles. Los datos recopilados para el análisis de las fuentes móviles se tomaron del estudio "Evaluación del Material Particulado en Suspensión en el Valle de Aburrá", en el cual se encuentran los datos de las principales vías del Valle de Aburrá con sus nombres, coordenadas X, Y, Z, y su Tráfico Horario Equivalente (THE). Los datos de las principales vías del municipio de Envigado se tomaron de los aforos realizados para el Plan vial de transporte del Municipio de Envigado 1999. Cálculo de emisiones Cálculos de las emisiones para las fuentes fijas.

	Emisión de material particulado (PST). Las emisiones de material particulado (PST) se obtuvieron directamente por los muestreos isocinéticos de las diferentes industrias. Estos datos fueron tomados de la base de datos del Área Metropolitana de Medellín. Emisión de SO2, NO2 y CO. Para el cálculo de las emisiones de NO2, SO2 y CO se utilizaron los factores de emisión de la EPA y los porcentajes de composición de los combustibles. Para el caso de las fuentes fijas se calcularon los consumos de combustible para cada fuente partiendo de la emisión de material particulado y del factor de emisión para PST debido a que la información sobre el consumo de combustible no es muy confiable. A partir del consumo de combustible estimado y de los diferentes factores de emisión se hallaron las emisiones para los demás contaminantes. Lo anterior se hace debido a la falta de información sobre las emisiones diferentes a PST. En general para el cálculo de las emisiones y el consumo de combustible se utilizó la siguiente ecuación en la cual se relaciona el consumo de cada industria con el factor de emisión correspondiente al tipo de combustible utilizado. En este caso los cálculos se realizaron asumiendo que no existen sistemas de control para la disminución de emisiones, lo cual puede sobreestimar los resultados. $E = C \times FE$ Donde: E: emisión del contaminante. C: consumo energético. FE: factor de emisión. Cálculos de las emisiones para las fuentes móviles. Emisión de material particulado (PST). Para la estimación de las emisiones de material particulado por parte del parque automotor se tienen en cuenta dos elementos: uno es la emisión generada por la fricción de las llantas con el suelo, y el otro es el material particulado emitido por el exhosto de los vehículos. En este caso los cálculos se realizaron mediante la aplicación de factores de la EPA, utilizando la información de los aforos de vehículos en las principales vías y la longitud de éstas. Estos factores son los mismos para todos los tipos de vehículos según la clasificación de la EPA . Datos meteorológicos Los datos meteorológicos fueron tomados de la estación meteorológica ubicada en el aeropuerto Olaya Herrera de la ciudad de Medellín, la cual registra la dirección (en grados sexagesimales) y velocidad del viento (en metros por segundo) Estos se registran en intervalos de una hora. Para esta modelación se tomaron los datos desde las cero horas del 3 de mayo de 2000, hasta las 21 horas del 16 de junio de 2000. Estos datos

	equivalen a 1077 horas, aproximadamente 45 días. Rosa de vientos. Para la realización de la rosa de vientos se utilizaron dos programas: el programa ROSE WORKS FREQUENCY para calcular las distribuciones de las frecuencias de las velocidades y el programa ROSE WORKS con el cual se graficó la rosa de vientos. Modelación de los contaminantes atmosféricos: Para la modelación de la dispersión de los distintos contaminantes se utilizó el programa ISCST3, el cual es la versión para modelar a corto plazo. La elección se debe a que sólo se va a modelar para 1077 horas, lo que equivale a 45 días. A pesar de que la entrada de datos tiene cierta flexibilidad, en cuanto a la entrada de datos se refiere, existen ciertas reglas de sintaxis que son necesarias seguir. Cada registro que se encuentra en una línea de la programación se conoce con el nombre de imagen. La información de cada imagen consiste de una ruta, una palabra clave y de 1 o más parámetros. Cada uno de estos campos de la imagen debe estar separado por uno o más espacios en blanco. Para simplificar la interpretación de la imagen, las rutas deben estar en las columnas 1 y 2, las palabras claves (las cuales tienen 8 caracteres) en las columnas 4 hasta la 11, seguidas de los parámetros que van desde la columna 13 hasta la 132, según sea necesario. Cabe anotar que para la mayoría de las palabras clave, el orden de los parámetros sí es importante, no siendo este el caso para los espacios de los parámetros, siempre y cuando estén separados por una o más columnas y no excedan el límite establecido para 132 caracteres.
Contaminantes y/o efectos estudiados	Material particulado, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno monóxido de carbono.
Resultados	Al analizar las isopletas para 24 y 1077 horas para PST, se puede determinar que ambas presentan la misma estructura de dispersión y al mismo tiempo las mismas zonas críticas, sólo varían las concentraciones. Un punto crítico es el corredor vial de la quebrada la Ayurá comprendido entre las calles 24 y 25 Sur, sector en el que la modelación arrojó las más altas concentraciones de PST, presentándose los máximos valores entre la avenida Regional y la avenida el Poblado (carrera. 43A) con una concentración de 250 µg/m3 para un período de 24 y de 82 µg/m3 para un periodo de 1077 horas. En esta zona del Municipio de Envigado las concentraciones de PST disminuyen a medida que se asciende por el corredor vial de la quebrada la Ayurá, presentando concentraciones más bajas en la parte alta. Considerando que esta es una zona residencial, la cual cuenta con 3 instituciones educativas (Colegio La Salle, Colegio Teresiano y la Escuela

	de Ingenieros de Antioquia), un almacén de cadena (Carrefour) y varios centros comerciales, el sector debe ser tenido en cuenta para la ubicación de equipos de monitoreo para PST; a pesar de que las concentraciones se encuentra por debajo de la norma diaria, esta zona es susceptible de presentar incrementos que puedan llegar a deteriorar la calidad del aire, reduciendo la calidad de vida de los habitantes, incluso puede afectar la población flotante que diariamente concurre al sector. El otro punto crítico se encuentra en los límites con los Municipios de Itagüí y Sabaneta, sector donde se presentan altas concentraciones a causa del gran número de industrias asentadas en la zona (zona industrial), por tal motivo, debe tenerse en cuenta para la ubicación de equipos de monitoreo. Las concentraciones máximas son de 220 µg/m^3 para un periodo de 24 horas y 75 µg/m^3 para un periodo de 1077 horas, valores que también están por debajo de la norma diaria, pero se pueden incrementar drásticamente si se presenta un aumento en el número de industrias en este sector. El centro del Municipio de Envigado (Parque principal y sus alrededores) es una zona de mucha importancia por contar con una considerable afluencia de personas que concurren a diversas actividades sociales, económicas y administrativas que se desarrollan, razón por la cual es importante considerarla al momento de diseñar la red de monitoreo de calidad de aire, presenta concentraciones que varían desde 30 µg/m^3 a 49 µg/m^3 para un periodo de 1077 horas y desde 95 µg/m^3 a 120 µg/m^3 para un período de 24 horas. Estas concentraciones también se encuentran por debajo de la norma diaria. Cabe destacar que las zonas menos afectadas, son las que se encuentran en los límites entre la zona urbana y la zona rural, donde se encuentra una menor densidad poblacional. Las isopletas para 1, 8 y 1077 horas tienen la misma estructura de dispersión, y se asemejan al comportamiento presentado por las isopletas de PST, con la diferencia de que para este caso, las zonas de mayor concentración son más extensas, pero también disminuyen las concentraciones a medida que se asciende por el corredor vial de la quebrada la Ayurá. Este comportamiento está relacionado directamente con el aporte de las fuentes móviles, ya que no se tiene industrias y si vías arterias de alto tráfico vehicular. Para el caso de CO solo se presenta una zona crítica (el corredor vial de la quebrada la Ayurá), presentando sus máximas concentraciones entre la avenida Regional y la avenida el Poblado en los límites con el Municipio de Medellín. Los valores máximos obtenidos con la modelación son de 3236 µg/m^3 para un período de 1 hora, 1957 µg/m^3 para un período de 8 horas y 461 µg/m^3 para un periodo de 1077 horas, valores que también se encuentran por debajo de la norma para 1 y 8 horas. En el centro del Municipio de Envigado (Parque principal y sus alrededores) presenta concentraciones que varían desde 260 µg/m^3 hasta 330 µg/m^3 para un período de 1077 horas, desde 1276 µg/m^3 hasta 1600 µg/m^3 para un periodo de 8 horas y desde 2150 µg/m^3 hasta 2550 µg/m^3 para un período de 1 hora, valores que cumplen con la norma. Es importante considerar este sector al momento de diseñar la red de monitoreo de calidad de aire, ya que aquí se desarrolla gran parte de las actividades económicas, sociales y administrativas del municipio y se encuentra

	aproximadamente el 21% de la población receptora. Las isopletas tienen la misma estructura de dispersión, y se asemeja también al comportamiento presentado por la modelación de PST, diferenciándose en que para este caso, las zonas son de menor concentración y de menor extensión, pero al igual que en los casos anteriores, las concentraciones disminuyen a medida que se asciende por el corredor vial de la quebrada La Ayurá. Para el caso de NOx se presentan 2 zonas críticas las cuales deben tenerse en cuenta para la ubicación de estaciones de monitoreo. La primera es el corredor vial de la quebrada La Ayurá, principalmente entre la avenida Regional y la avenida el Poblado, las máximas se encuentran cerca de la avenida el Poblado en los límites con el Municipio de Medellín. Las concentraciones en este sector son de 299 µg/m^3 para un período de 24 horas y de 93 µg/m^3 para un período de 1077 horas. Si se asume un comportamiento similar extendido para un año, se podría esperar que se cumpla la norma anual. La otra zona crítica está ubicada en los límites de los Municipios de Itagüí y Sabaneta, sector donde se presentan altas concentraciones a causa del gran número de industrias asentadas en la zona (zona industrial), y las vías que tienen un importante flujo vehicular, razón por la cual debe tenerse en cuenta para la ubicación de equipos de monitoreo. Las concentraciones máximas en este sitio son de 216 µg/m^3 para un periodo de 24 horas y 70 µg/m^3 para un periodo de 1077 horas. El centro del Municipio de Envigado (Parque principal y sus alrededores) presenta concentraciones que varían desde 52 µg/m^3 hasta 82 µg/m^3 para un período de 24 horas, y desde 20 µg/m^3 hasta 28 µg/m^3 para un periodo de 1077, valores que se encuentran por debajo de la norma. Es importante considerarla al momento de diseñar la red de monitoreo de calidad de aire. Teniendo en cuenta los resultados de la modelación para un período de 45 días, es recomendable considerar el corredor vial de la Quebrada la Ayurá como sitio de monitoreo para el NOx. Las isopletas tienen la misma estructura de dispersión, presentando las mismas 2 zonas críticas observadas para PST y NOx. Una zona crítica es el corredor vial de la quebrada la Ayurá, principalmente entre la avenida Regional y la avenida el Poblado. Estas concentraciones también disminuyen a medida que se asciende por el corredor vial de la quebrada la Ayurá. La zona presenta concentraciones máximas de 305 µg/m^3 para un período de 3 horas, 240 µg/m^3 para un periodo de 24 horas, y 75 µg/m^3 para un periodo de 1077 horas. Si se asume un comportamiento similar extendido para un año, se podría esperar que no se cumpla la norma anual en esta zona. Para 3 y 24 horas, la concentración está por debajo de la norma. La zona más crítica se encuentra nuevamente en el corredor vial de la quebrada la Ayurá

	En el centro del Municipio de Envigado (Parque principal y sus alrededores), zona que cuenta con una considerable afluencia de personas por las diversas actividades sociales y administrativas que se desarrollan en el sector, se presentan concentraciones que varían desde 90 µg/m^3 hasta 110 µg/m^3 para un período de 3 horas, desde 34 µg/m^3 hasta 51 µg/m^3 para un periodo de 24 horas, y desde valores 11 µg/m^3 hasta 19 µg/m^3 para 1077 horas. Para todos los períodos se cumple la norma, por lo cual se puede determinar que la zona no presenta problemas por SOx. Cabe destacar que la zona limítrofe entre los Municipios de Itagüí y Sabaneta con el Municipio de Envigado presenta también altas concentraciones, por lo que se debe tener en cuenta para la selección de puntos de monitoreo. Las concentraciones máximas en este sector son de 2160 µg/m^3 para un periodo de 3 horas, 703 µg/m^3 para un periodo de 24 horas y de 112 µg/m^3 para un periodo de 1077 horas, razón por la cual es necesario monitorear el comportamiento del SOx en este sitio, ya que se sobrepasa la norma para 3 y 24 horas. Número de equipos para el monitoreo de PST. Según las recomendaciones de la OMS, las redes de monitoreo de la calidad del aire en ciudades con menos de 1 millón de habitantes requieren como mínimo dos equipos de monitoreo para PST; sin embargo, este número puede variar dependiendo de diferentes factores como: el tráfico vehicular, industrias, entre otros; por otra parte, la EPA establece que se requieren 4 estaciones para los 146406 habitantes de Envigado. Después de analizar, tanto el comportamiento y la estructura de dispersión de PST dentro del Municipio de Envigado como las recomendaciones de la EPA y de la OMS, se determinó la necesidad de instalar 3 equipos para el monitoreo de este contaminante, uno más que los recomendados por la OMS. Esta determinación se tomó debido a que existen tres zonas críticas: una en el corredor vial de la quebrada la Ayurá entre la avenida Regional y la avenida el Poblado; otra en la zona limítrofe con los Municipios de Itagüí y Sabaneta, y por último la zona centro. Es importante resaltar que la zona centro es donde se presentan las concentraciones más bajas de PST, es considera crítica por la alta afluencia de público, lo que hace necesario el monitoreo de PST en el sector. Número de equipos para el monitoreo de CO. Según las recomendaciones de la OMS y de la EPA, las redes de monitoreo de calidad del aire en ciudades con menos de 1 millón de habitantes requieren como mínimo 1 equipo para el monitoreo para CO. Este equipo deberá ser ubicado en la zona donde se presentan las máximas concentraciones, que para este caso es el corredor vial de la quebrada la Ayurá, entre la avenidas El Poblado y la avenida Regional, sector que presenta el mayor flujo de vehículos. Recuérdese que las fuentes móviles aportan el 99% de CO en el Municipio de Envigado, según la modelación. Número de equipos para el monitoreo de NOx. La OMS recomienda que las redes de monitoreo de calidad del aire en ciudades con menos de 1 millón de habitantes requieren como mínimo 1 equipo para el monitoreo para NOx, cantidad que puede variar según las

	condiciones particulares de cada caso en estudio. Por otro lado, según los cálculos realizados con los parámetros de la EPA, se requiere la instalación de 4 estaciones. Después de considerar las recomendaciones anteriores y los resultados de la modelación, se sugiere la instalación de dos equipos para el monitoreo de NOx; se deberán ubicar en las zonas que presentan las máximas concentraciones, como son el corredor vial de la quebrada la Ayurá, entre la avenidas el Poblado y la avenida Regional y en la zona limítrofe con los Municipios de Itagüí y Sabaneta, sector donde se encuentran asentadas industrias que pueden aportar grandes cantidades de NOx. Número de equipos para el monitoreo de SOx. En ciudades con menos de un millón de habitantes, la OMS como la EPA recomiendan instalar dos y tres equipos, respectivamente, para el monitoreo de SOx. Se considera necesario la implementación de 2 equipos de monitoreo de SOx, los cuales deberán ubicarse en las zonas donde se presentan las máximas concentraciones: el corredor vial de la quebrada la Ayurá, entre las avenidas el Poblado y Regional y en la zona limítrofe con los Municipios de Itagüí y Sabaneta. Estación Ayurá. Esta estación contará con equipos de monitoreo de PST, CO, SOx y NOx, ya que para estos cuatro contaminantes la zona presenta problemas. Se recomienda ubicarla diagonal a la Escuela de Ingeniería de Antioquia (EIA) en la azotea del edificio Stefania´s. Otro sitio recomendado podría ser la propia Escuela de Ingeniería de Antioquia ya que esta tiene una facultad de Ingeniería Ambiental, y de esta forma los estudiantes de la misma podrían realizar sus prácticas académicas y al mismo tiempo contribuir en la obtención de los datos; sin embargo, si se quisiera ubicar la estación en esta lugar, habría que hacer las adecuaciones necesarias, ya que la parte superior de las edificaciones no cuenta con una infraestructura que permita colocar los equipos necesarios. Estación Centro. La estación Centro (carrera 43 con calle 38 Sur) contará con un equipo para el monitoreo de PST y una estación meteorológica. Esta estará ubicada en el parque central del Municipio de Envigado, se recomienda como sitio de ubicación la azotea del edificio Quórum el cual cumple con las especificaciones de la EPA, pese a que sobrepasa por no más de 3 metros la recomendación de ubicación vertical. A pesar de que el flujo de aire libre no es tan amplio como en el caso de la estación Ayurá, si está por encima de los 270° estipulados por los parámetros seguidos ; no cuenta con árboles, sistemas de ventilación o chimeneas a su alrededor y está frente a una vía cuyo flujo no sobrepasa los 10.000 vehículos al día, por lo que la separación mínima para vías también se cumple. Estación Sur. La estación Sur estará ubicada en los límites con los Municipios de Itagüí y Sabaneta. Para esta se recomiendan 2 sitios: uno es la azotea de la Clínica de la Policía Seccional Valle de Aburrá (ver figura 34); el otro es la azotea de la sede de Enviaseo (ver figura 35). Esta estación, ubicada en cercanías de un sector industrial, contará con equipos

	para el monitoreo de PST, NOx y SOx. La estación Sur es la que tiene el mayor área de flujo libre de aire, por tener lotes aledaños sin construcciones y por tener un número relativamente bajo de edificios a su alrededor, en comparación a las otras 2 estaciones. La distancia entre la avenida el Poblado y la posible ubicación de los equipos en la Clínica de la Policía es de 60 metros aproximadamente, cumpliéndose así las estipulaciones de la EPA en cuanto a separación para vías se refiere, en tanto que la distancia aproximada entre la avenida el Poblado y Enviaseo es de unos 30 metros, razón por la cual los equipos en este sitio se encontrarían bajo una mayor influencia del tráfico vehicular que para el caso de la primera recomendación. Métodos y frecuencias de muestreo Los métodos y frecuencias de muestreo se basarán en las recomendaciones establecidas por la legislación colombiana en el Artículo 33 del Decreto 02 de 1982, las cuales se presentan a continuación: • Material particulado: se evaluará utilizando el método gravimétrico por muestreador en alto volumen, con una muestra tomada en forma continua, durante 24 horas, cada 3 días. • Dióxido de azufre: se evaluará utilizando el método colorimétrico con pararosanilina, tomando una muestra en forma continua durante 24 horas, cada 3 días. • Monóxido de carbono: se evaluará por medio de un analizador infrarrojo no dispersivo, tomando una muestra en forma continua desde las 6 horas hasta las 22 horas, en períodos de 8 horas. • Óxidos de nitrógeno: una muestra tomada en forma continua durante 24 horas, cada 3 días, utilizando el método del arsenito de sodio.
Conclusiones	➢ El corredor vial de la quebrada la Ayurá es la zona más crítica del Municipio de Envigado, ya que en esta zona los contaminantes modelados presentan sus máximas concentraciones para un período de 45 días con una concentración de 82 µg/m3. ➢ Según las modelaciones realizadas para PST en el programa ISCST3, en el área de estudio no se sobrepasa la norma diaria, y si continuara con el mismo comportamiento presentado para 45 días, se podría esperar que no cumpla con la norma anual establecida por la legislación colombiana. ➢ La modelación para CO, dio como resultado que en el Municipio de Envigado las concentraciones máximas no sobrepasan la norma según el Decreto 02 de 1982, 3235 µg/m3 para 1 hora y 1956 µg/m3 para 8 horas. ➢ Las concentraciones de NOx obtenidas con la modelación para el área

	de estudio, no sobrepasarían la norma anual estipulada en el Decreto 02 de 1982, aunque estaría cerca del límite permisible. ➢ La modelaciones para SO2 muestran que en algunos sectores del Municipio de Envigado no cumplen con la norma para 3 y 24 horas, en tanto que en esos mismos puntos se podría esperar que si se sigue misma tendencia presenta en la modelación para 45 días, no se cumpliría la norma anual. ➢ El mayor aporte de PST, NOx y SO2 proviene de las fuentes fijas, en tanto que las emisiones de CO son emitidas, casi en su totalidad por las fuentes móviles y sirven como instrumento para la toma de decisiones e implementación de medidas de control por parte de las autoridades ambientales ➢ Al comparar los valores registrados por muestreos de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá en el Hospital Manuel Uribe Ángel con los obtenidos en la modelación de PST, se determinó que la modelación presentaba un error del 18%, valor que puede considerarse aceptable para una modelación, esto se debe a que la modelación se realizó con datos reales de muestreos isocinéticos. ➢ El uso de factores de emisión para los diferentes combustibles puede sobreestimar o subestimar las concentraciones al momento de realizar la modelación; por lo tanto se requiere de datos reales para la calibración del modelo. ➢ Los modelos de dispersión permiten identificar de forma rápida cuales son las fuentes de emisión que están afectando más una determinada zona, y sirven como instrumento para la toma de decisiones e implementación de medidas de control por parte de las autoridades ambientales. ➢ El hecho de que los datos que se introdujeron en el ISCST3 fueron los mínimos requeridos por el programa, pudo haber influido en la incertidumbre de la modelación. Cabe aclarar que si se hubiesen utilizado otras opciones de modelación más complejas que requerían de más información, los resultados habrían sido diferentes, aunque no necesariamente más cercanos a la realidad. ➢ La falta de datos confiables del consumo de combustible para las fuentes fijas, son una causa de error tanto para calcular las emisiones de cada contaminante, como para realizar la modelación. ➢ Pese a que los sitios seleccionados para la ubicación de las estaciones no necesariamente cumplen con todos los parámetros establecidos por la EPA, son los que más se aproximan a todas las especificaciones técnicas y de seguridad que se deben tener en cuenta. ➢ La gran mayoría de las empresas no cuentan con datos de emisión diferentes a los de material particulado, razón por la cual fue necesario hallarlos por medio de factores de emisión de diversos autores. ➢ Las redes de monitoreo y la modelación de la calidad del aire, permiten escoger las estrategias de control de emisiones más óptimas para una determinada zona, es decir, permite determinar las políticas de corto y

	mediano plazo que contribuyan a mejorar la calidad del aire. ➢ Los factores de emisión utilizados son extranjeros, y por lo tanto no corresponden con las características físico–químicas de los combustibles utilizados por las industrias del Valle de Aburrá. ➢ Es importante contar con un modelo avanzado de dispersión de contaminantes, que permita simular la emisión, generación, transporte y dispersión de contaminantes como, PST, CO, NOx y SOx al momento de diseñar una red de monitoreo de la calidad del aire, el cual permita validar los inventarios de emisiones y adecuar la ubicación de las redes. ➢ Una modelación es una forma mucho más económica de identificar puntos críticos de una zona en estudio, y puede contribuir a la toma de decisiones que permitan controlar o mitigar los impactos causados a la comunidad por la contaminación atmosférica. ➢ La finalidad del diseño de la red de monitoreo es brindar una herramienta para la toma de decisiones que permitan mejorar la calidad de vida de los habitantes del Municipio de Envigado. ➢ Para poder diseñar medidas que conlleven a mejorar la calidad del aire en una zona dada, es necesario conocer las relaciones cuantitativas entre las emisiones de contaminantes, tanto en escalas espaciales como temporales. ➢ Los efectos de la contaminación atmosférica sobre los seres humanos dependen del tipo de contaminante y de sus concentraciones, frecuencia y tiempo de exposición. Nuestro país establece las concentraciones máximas permisibles de contaminantes para asegurar la protección de la salud y el bienestar de la población. Estos valores están estipulados en el decreto 02 de 1982. ➢ El material particulado menor o igual a 10 micras (PM10) no fue discriminado del PST, por el hecho de que no se posee información suficiente para su modelación. Dado lo anterior, no fue posible hacer ningún análisis con respecto a este contaminante en especial.

Nombre del proyecto	**Sistema de Información Metropolitano de la Calidad del Aire. Contrato 661 de 2004. Maria Victoria Toro Gómez; Néstor Waldyd Álvarez Villa; Andrea Marín Calderón.**
Objetivos	**General** Implementar un modelo de simulación atmosférica y un sistema de información metropolitano de calidad del aire. **Específicos** ➢ Instalar, montar y validar el modelo de pronostico a mesoescala RAMS (Regional Atmospheric Modeling System) y el modelo de reacción química CAMx (Comprehensive Air quality Model with extensions), para la simulación del transporte y transformación de contaminantes de tal manera que permitan estimar la calidad del aire en el Valle de Aburrá. ➢ Montar, Instalar, y operar el sistema de modelación atmosférica regional, en las instalaciones del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. ➢ Identificar las zonas críticas del Valle de Aburrá mediante los resultados de los modelos de pronóstico y de reacción química donde se deben enfocar principalmente las acciones de control y de prevención de la contaminación atmosférica por parte de la Autoridad Ambiental. ➢ Pronosticar las concentraciones diurnas de los siguientes contaminantes: Partículas Suspendidas Totales menores de 10 micrones - PM_{10}, Ozono-O_3, Monóxido de Carbono - CO, Óxidos de Nitrógeno - NOx, Óxidos de Azufre - SOx y de compuestos orgánicos volátiles COV. ➢ Asesorar a los funcionarios designados por el Área Metropolitana en el montaje, instalación, operación y actualización del sistema de modelación atmosférica para el Valle de Aburrá. ➢ Adaptar la información arrojada por el modelo de pronóstico, a una forma sencilla, de tal manera que sea compatible con ARECNAVA (sistema de información del Área Metropolitana del Valle de Aburrá), permitiendo reportar la información en tiempo real dentro de la red de comunicaciones de esta entidad.
Metodología: **Datos de origen.** **Muestreo.** **Tipo de Análisis.**	Instalación y montaje de los modelos RAMS y CAMx: El modelo de pronostico meteorológico RAMS (Regional Atmospheric Modeling System y el Modelo de reacción química CAMx (Comprehensive Air quality Model with extensions), son modelos GNU de dominio público diseñados para el estudio de la dispersión de contaminantes y el pronostico de la trayectoria del viento, son obtenidos a través de la empresa ATMET y de la EPA, Los modelos son instalados en el sistema operativo linux que es el requerido para este tipo de algoritmos. Determinación de la circulación de viento en el Área de Estudio: Alimentación del modelo Meteorológico RAMS con la información obtenida

	de modelos globales y ejecución del mismo para un período de simulación. Los datos requeridos para la creación de los archivos de alimentación al modelo serán adquiridos del proyecto “Reanalyses” de la NCAR y de los sondeos verticales realizados por el IDEAM en Bogotá. Durante esta actividad se obtienen las líneas de flujo, las cuales se validan con base en los registros de dirección del viento, tanto para el período analizado, como para una hora característica del día. La circulación del viento en el valle se simula para un caso especial donde se identifiquen los vientos anabáticos y catabáticos además de la formación de la estructura térmica de la atmósfera sobre la ciudad. Validación de la circulación de viento con otro modelo (MEMO): Alimentación del modelo de pronóstico MEMO (MEsoescale MOdel) y simulación de las trayectorias eólicas para el mismo escenario de RAMS. Al finalizar esta etapa se evalúa el porcentaje de error entre los dos modelos de simulación y utilizando la mejor aproximación para la alimentación del modelo reactivo. Definición de Escenarios: Esta actividad consiste en simular condiciones futuras de las emisiones con base en el inventario realizado en PAMOMED (2003) y su posible evolución. Los escenarios pueden ser espaciales o temporales. En los espaciales se eligen las zonas donde es interesante ver el comportamiento de la dispersión de contaminantes realizando un enfoque con mayor resolución que la modelización general. Para el inventario de emisiones se considerará la base de datos del Área Metropolitana actual y se verá la posibilidad de interrelacionarla con los modelos. Mecanismo de reacción: El mecanismo que será seleccionado usará los Compuestos Orgánicos Volátiles específicos determinados durante el inventario de emisiones, además de los contaminantes primarios emitidos en el valle. Pronóstico: Luego de validado los modelos de pronostico y de reacción química se realizarían pronósticos semanales para obtener los datos de la calidad del aire para mínimo 3 días. Verificación: La verificación y evaluación de los modelos de dispersión fotoquímica y meteorológica para los escenarios históricos definidos en el paso previo, se efectuará una comparación de los resultados obtenidos en la modelización con los datos de la calidad del aire en el área de estudio, que se obtendrán de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá. Sistema de información: Se diseñará un portal en Internet en el cual se visualizarán los resultados del modelo de pronóstico utilizando para ello bases de datos en ORACLE 9i. El sistema comprende el almacenamiento de datos y la visualización interactiva de la región en estudio, para la cual se tiene el pronóstico en cualquier parte del dominio. Capacitación del personal de Área Metropolitana del Valle de Aburrá: Capacitar en la instalación, montaje y ejecución del sistema de modelación atmosférica y del sistema de información al personal designado por el Área Metropolitana, el cual debe presentar un nivel adecuado en termodinámica,

	mecánica de fluidos, sistema Linux, meteorología y química general. Durante la capacitación se atenderán las consultas que se presenten durante la instalación, implementación y tiempo de garantía de la aplicación, que aseguren que el entorno de trabajo del usuario sea operativo. El objetivo del proyecto SIMECA es Implementar un modelo de simulación para el pronóstico meteorológico y para la dispersión de contaminantes atmosféricos. Para llevarlo a cabo se tomó el inventario de emisiones de contaminantes provenientes de fuentes industriales, transporte y vegetación en un dominio de 40x40 km2 y resolución espacial y temporal de 1x1 km2 y una hora, respectivamente realizado para el 2005 por la UPB.
Contaminantes y/o efectos estudiados	Partículas Suspendidas Totales menores de 10 micrones - PM_{10}, Ozono- O_3, Monóxido de Carbono - CO, Óxidos de Nitrógeno - NOx, Óxidos de Azufre - SOx y de compuestos orgánicos volátiles COV.
Resultados	Este modelo de pronóstico permite realizar proyecciones del estado del tiempo en el Valle de Aburrá reportando datos meteorológicos que son posteriormente usados para realizar el pronostico de la calidad del aire utilizando el Modelo Comprehensive Air quality Model with extensions (CAMx,ENVIRON) que es un modelo de dispersión fotoquímico Euleriano el cual integra “en una -atmósfera” la evaluación de contaminantes gaseosos y partículas tales como el ozono, CO, NOx y COV´s igualmente se podrían visualizar las partículas respirables, PM10 y aerosoles, mercurio etc. para desarrollos futuros, sobre escalas tanto urbanas como continentales. Los resultados de los pronósticos meteorológicos y químicos son guardados en bases de datos que posteriormente son consultadas por los usuarios mediante el Sistema De Información Metropolitano De La Calidad Del Aire –SIMECA- que consiste en un portal de Internet (Figura 4) mediante el cual los usuarios realizan consultas de los datos en cualquier lugar del Valle y a cualquier hora del día.
Conclusiones	Los resultados de los pronósticos meteorológicos y químicos son guardados en bases de datos que posteriormente son consultadas por los usuarios mediante el Sistema De Información Metropolitano De La Calidad Del Aire –SIMECA- que consiste en un portal de Internet; mediante el cual, los usuarios realizan consultas de los datos en cualquier lugar del valle y a cualquier hora del día.

Nombre del proyecto	**Aplicación del modelo RAMS para el diagnóstico preliminar del medio físico atmosférico en la jurisdicción de Corantioquia. Universidad Pontificia Bolivariana, Maria Victoria Toro Gómez I.q. Msc. Phd. Néstor Waldyd Alvarez I.E.E. Sergio Luis Petro Bedoya I:M.**
Objetivos	**General** Implementación y ejecución del modelo de pronóstico RAMS para el diagnóstico preliminar del medio físico atmosférico de la jurisdicción de Corantioquia. **Específicos** ➢ Adquirir, instalar y ejecutar el modelo RAMS (Regional Atmospheric Modeling System). ➢ Estudiar y determinar el comportamiento de los parámetros meteorológicos dentro de la capa límite atmosférica en un periodo no menor a 1 año a partir de la información secundaria de estaciones superficiales del IDEAM. ➢ Estudiar las trayectorias del flujo del viento en el área de estudio para un periodo de 48 horas y en dos épocas del año donde las condiciones atmosféricas sean las más desfavorables para la dispersión de contaminantes. ➢ Calibración y Verificación del modelo RAMS con datos de estaciones de monitoreo del IDEAM para los días simulados. ➢ Enfocar las líneas de flujo eólico en las zonas de mayor interés para las subregiones de CORANTIOQUIA con las peores condiciones atmosféricas. ➢ Capacitar a funcionarios de la Corporación en la ejecución del Modelo RAMS.
Metodología: **Datos de origen.** **Muestreo.** **Tipo de Análisis.**	Para la modelización de la circulación del viento se utilizó uno de los modelos mas reconocidos en el medio para el pronóstico de las trayectorias. El modelo RAMS (Regional Atmospheric Modeling System) es un código matemático altamente versátil desarrollado en la Universidad del Estado de Colorado (USA) y la división ASTER, para simular y realizar pronósticos de fenómenos atmosféricos, Los mayores componentes del modelo son: 1) Un modelo atmosférico que realiza las simulaciones reales 2) Un paquete para el análisis de datos el cual prepara archivos de entrada al modelo a partir de observaciones meteorológicas 3) Un modelo de visualización y un paquete de análisis de datos, que sirven como interfase entre los resultados de la simulación de RAMS con una variedad de software de graficación.

	El modelo RAMS permite realizar el pronóstico de variables como velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad relativa e incluso puede llegar a predecir el desplazamiento de una tormenta, en diferentes dominios los cuales pueden ser globales, regionales o simplemente de micro escala. Los datos de entrada al modelo consisten en perfiles verticales de velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad relativa tomados en Bogotá para las horas 0 y 12 (Local Standar Time LST), del 7 y 8 de agosto de 2001. En la modelización de la circulación del viento es necesario realizar numerosos experimentos (Sounding e ISAN) hasta obtener un modelo de pronóstico que represente las variables estudiadas con un error mínimo de desempeño. El error se obtiene de la comparación de los datos reales obtenidos en estaciones superficiales meteorológicas con los resultados de la corrida del modelo, mediante la aplicación de los estadísticos: desviación fraccional FBIAS, el error cuadrático medio normalizado NMSE, y el Factor de 2 Fa2 que tienen las siguientes restricciones en la evaluación de los modelos. Se dice que un modelo está calibrado (o que es confiable) cuando cumple las siguientes condiciones: -0.3 □ FB* □ +0,3 NMSE* □ 0,3 En los resultados obtenidos de la aplicación de estadísticos se observa que la simulación tipo ISAN de agosto es la que cumple con casi todos los estadísticos. Se podría concluir que las simulaciones SOUNDING pueden reportar el pronóstico con un nivel de certeza restringido al manejo de las variables de radiactividad, de usos del suelo y de interpolación de la topografía del suelo. Lo mas aconsejable es realizar modelizaciones ISAN con los datos obtenidos de los centros de Meteorología o construirlos con más detalle, es decir, realizar mas simulaciones SOUNDING con diferentes perfiles verticales conocidos a diferentes horas del día de tal manera que se obtengan suficientes archivos dp-p* como horas simuladas y aparte de esto construir suficientes archivos de datos de estaciones meteorológicas superficiales a diferentes horas del día. De las simulaciones anteriores se elige la ISAN para agosto 7, ya que resultó con la mejor aproximación, para realizar el análisis de trayectorias.
Contaminantes y/o efectos estudiados	Variables meteorológicas.
Resultados	Flujo del Viento en la Mañana: En la mañana el flujo del viento inicia su recorrido desde dos frentes. Uno proveniente del norte y del noreste que rodean la sierra de San Lucas confluyendo hacia el municipio del Bagre donde las corriente chocan y se

	anulan produciendo áreas con poca velocidad del viento. El viento que entra por el noreste es desviado hacia el este por una corriente que baja de la cordillera central, tal vez activado por el calentamiento del sol en el lado opuesto de la cordillera occidental. Este flujo luego es encausado hacia el sur siguiendo el Valle del Magdalena en las inmediaciones del Puerto Berrio y La Sierra. En los alrededores de Vegachí se muestra como en este sitio se generan vientos en todas las direcciones unas de las cuales se encumbran por la cordillera occidental alcanzando los municipios desde Medellín hasta Urrao siguiendo la topografía. Flujo del Viento en la Tarde: Al medio día y en la tarde hay mayor radiación solar ocasionando que el aire se eleve y este sea reemplazado por corrientes más frescas en la superficie. Esta turbulencia hace que el viento corra con mayor velocidad sobre la primera capa (900mb). Esta condición de inestabilidad modifica el flujo del viento presentado tres trayectorias en el dominio B. Una primera con altas velocidades se nota hacia el norte donde los vientos alisios del norte sobrepasan las serranías de San Jerónimo y Ayapel chocando hacia el oeste con una corriente que viene de esta dirección. Otro flujo que proviene del noreste pasa por todo el valle del Magdalena se une con la corriente que viene del norte formando un canal de drenaje marcado sobre la cordillera occidental hacia Amalfi y llegando a Santa Fe de Antioquia. Finalmente viene una corriente del sur que sube por el Magdalena y es cancelada por la corriente del norte creando zonas de atrapamiento del aire, tal como se observa en Puerto Triunfo. Allí los vientos son desviados hacia las dos cordilleras. Estos vientos anabáticos están normalmente húmedos y cálidos formando nubes lenticulares al ascender por las montañas. Flujo del Viento en la Noche: Durante la noche (1 LST) se presenta un patrón de vientos donde la dirección es bastante heterogénea en todo el dominio. Esto indica que se presenta la una circulación de viento debida a las masas de aire que aun permanecen calientes sobre la superficie terrestre. En general se observan dos corrientes predominantes, una que entra por el noreste al lado derecho de la sierra de San Lucas y otra que entra con dirección norte hacia el suroeste de esta serranía. En el municipio del Bagre se observan bajas velocidades del viento y actuando este sitio como punto de origen de varias zonas líneas de dispersión. El viento sigue la rugosidad del suelo internándose por el valle del Magdalena. Parte de estos suben por la cordillera occidental hacia el oeste con un flujo más o menos homogéneo. Flujo del Viento en el Valle de Aburrá: En la noche y en las primeras horas de la mañana el flujo del viento presenta una dirección homogénea hacia el oeste por el lado oriental del dominio. Contrario a lo que sucede cuando sale el sol que incrementa la velocidad del viento trayendo masas de aire provenientes del noreste al medio día y en las primeras horas de la noche. Se observa como el aire viene con una dirección este hacia el sur del dominio, baja por las laderas y se encausa por el valle siguiendo su topografía hasta drenar hacia el suroeste.

	Este fluido se observa con mayor intensidad hacia las horas de la tarde. Se muestra entonces, como la actividad antropogénica en el norte del valle afecta la del sur.
Conclusiones	El Modelo de pronóstico RAMS permite modelizar y predecir las trayectorias del viento para identificar cuales son las vías de drenaje de contaminantes en la Jurisdicción de CORANTIOQUIA con un nivel alto de confianza. Acá se vio como la mayor parte influenciada por estas corrientes es hacia el occidente debido a los vientos alisios que en esta época son más frecuentes. El modelo es una herramienta de gran valor para que la Corporación la aplique en la definición de zonas de alto riesgo de contaminación como es por ejemplo Yondó, que se encuentra muy cercano a la Refinería de Barrancabermeja, y las zonas del suroeste de Medellín donde la contaminación generada por la ciudad es arrastrada hacia el sur ocasionando tal vez problemas en la productividad de la tierra. Igualmente puede ser utilizada en el pronóstico de la generación y transporte de tormentas, actuando como un medio informativo de prevención, también se puede utilizar para el estudio del calentamiento de la zona, pronostico de variación del clima por el efecto del niño o de la niña, ser una parte del estudio de la generación y el transporte de contaminantes.

Nombre del	

proyecto	**Concentración de monóxido de carbono presente en el aire y la intensidad de ruido en el centro de la ciudad de Medellín. Convenio 4800000064 de 2003.UNAL sede Medellín. Julian Bedoya V, Ph.D., Investigador Principal**
Objetivos	**General** El objetivo general de este proyecto de investigación es Investigar y Evaluar los niveles de concentración de monóxido de carbono y de intensidad de niveles sonoros existentes en el centro de la ciudad de Medellín, área comprendida entre la Av. Ferrocarril, Cll. San Juan y Av. Oriental. Se seleccionará un área aproximada a un cuadrado de 2 Km. x 2 Km., que cubre básicamente la zona amarilla o anillo central de la ciudad. **Objetivos Específicos** • Realizar la recopilación y análisis de la información secundaria que permita establecer el estado del aire relacionado con el monóxido de carbono y el ruido en el Valle de Aburrá y en particular en el Centro de Medellín, resaltando metodología, actualidad de la información, confiabilidad, disponibilidad, soporte para medición de indicadores de calidad. • Operar y controlar los instrumentos de medición de la calidad del aire e intensidad de ruido ubicados en la malla de muestreo para el centro de la ciudad de Medellín, que abarque como mínimo el plan cuadrante establecido por la Secretaría de Tránsito y Transporte del Municipio, definido por el área limitada por la avenida del Ferrocarril, la calle San Juan y la Avenida Oriental. • Realizar la medición de niveles de intensidad de ruido, siguiendo un diseño experimental que cubra el área definida (malla geoestadística). • Realizar la medición de concentraciones de monóxido de carbono simultáneamente a las de ruido y siguiendo el mismo plan de muestreo (malla geoestadística). • Desarrollar técnicas de muestreo geoestadístico que permitan lograr el máximo de información con el mínimo costo, que sirva para evaluar la calidad ambiental por ruido y monóxido en el área del centro de la ciudad de Medellín. • Establecer por medio de técnicas geoestadísticas líneas de igual nivel de ruido (isófonas) y líneas de igual concentración de monóxido de carbono (isopletas), que permitan establecer áreas críticas. Analizar y valorar los datos de niveles de ruido presentes en el área descrita. Construir áreas isófonas para valores máximos y para las medianas estadísticas. • Construir los mapas que georeferencien la información obtenida para monóxido de carbono y ruido, teniendo en cuenta los parámetros técnicos de la Secretaría del Medio Ambiente. • Realizar actividades para el aseguramiento de la calidad de los resultados obtenidos en los muestreos.

	• Establecer si existe correlación entre el flujo vehicular reportado en los estudios de tránsito y la concentración de CO medido en las calles del centro de Medellín. Describir el comportamiento (atenuación) del CO en dos cruces viales importantes seleccionados en el desarrollo del proyecto. Evaluar relaciones entre la densidad de flujo vehicular y los niveles de ruido para las vías involucradas en el estudio. • Evaluar el cumplimiento de normatividad colombiana con respecto al ruido ambiental y a las concentraciones de monóxido de carbono permitidas. • Comparar los datos obtenidos con preexistentes, relacionados con mediciones de monóxido de carbono y ruido en el centro de la ciudad cuando estos existan, de tal forma que puedan obtenerse indicadores de calidad, teniendo en cuenta las directrices del Sistema de Indicadores del macroproceso ambiental. • Realizar recomendaciones asociadas con las políticas de movilidad y transporte, que le permitan al macroproceso ambiental direccional acciones hacia las Autoridades Ambientales y la Secretaría de Tránsito Municipal. • Divulgar estas técnicas en el país para desarrollar la eficiencia en los estudios ambientales. Realizar la divulgación de los resultados obtenidos en la valoración de la calidad del aire asociada a CO y a los niveles de ruido en el centro de la ciudad, en públicos estratégicos asociados a la problemática y a la aplicación de soluciones.
Contaminantes y/o efectos estudiados	Ruido y Monóxido de carbono.
Metodología: • **Datos de origen** • **Muestreo** • **Tipo de análisis**	**DISEÑO EXPERIMENTAL** Debido a la imposibilidad de obtener la información con base en un censo de toda la población (en este caso la población será casi de carácter infinito), se determina seleccionar una muestra significativa (32000 datos para cada variable) que represente de la forma más fiel posible el comportamiento de la misma y permita obtener conclusiones valederas y extensibles al resto de la población acerca de las características de interés presentes en ella. La toma de datos se realizo por diez días consecutivos durante las veinticuatro horas del día, incluyendo domingos y se hizo en parejas lo que permitió la medición simultánea de niveles de ruido y concentración de monóxido de carbono. El área definida para el estudio comprende aproximadamente un cuadrado de 2 km. por 2 km. en el centro de la ciudad de Medellín, área que cubre básicamente la zona definida por la Secretaria de Transito y Transporte como Zona Amarilla o Anillo Central de la ciudad. El área fue ampliada hacia el noroccidente para incluir parte del Río Medellín y zonas institucionales y residenciales dentro del estudio. El área definida para el estudio está dividida en zonas de similitud poblacional o de caracterización comercial o institucional, de acuerdo con la propuesta realizada en el estudio de ruido adelantado por la Universidad

Nacional de Colombia en Octubre de 2003 (Correa et al., 2003).

Es así como se definen diez zonas o estratos según su actividad residencial, comercial, institucional, administrativa y judicial, características tan diferentes que merecen una consideración en forma separada que es lo que le da la eficiencia al plan de muestreo. De esta forma se pueden identificar con mayor precisión las zonas de mayor nivel de ruido entre las estudiadas.

Identificada el área de estudio y definidas las zonas en las cuales se dividió el área se realiza una segunda subdivisión, esta vez en cuadriculas de 154 m por 154 m, así entonces se consideran diez y seis cuadriculas en cada zona, los períodos de medición fueron de 50 minutos (10 minutos para desplazamiento y ubicación de equipos), en cada cuadricula de forma que se recorriera una zona completa por día. Adicionalmente siguiendo con los requerimientos del paquete geoestadístico se define el punto central en cada una de las cuadriculas como punto para la toma de muestra.

Para los estudios de concentración de monóxido se realizó un muestreo de 50 minutos de duración en cada una de las cuadriculas, el dato de mayor concentración es el utilizado para el análisis estadístico de datos.

Las mediciones fueron realizadas en cuatro franjas horarias: 05:00-09:00, 11:00-15:00, 17:00-21:00, 23:00-03:00 y por cuatro equipos de operadores: Grupo A, grupo B, grupo C y grupo D.

Resultados

ZONA-CUADRIC	MEDIA CO	CALIDAD ATMOSFÉRICA	ZONA-CUADRIC	MEDIA CO	CALIDAD ATMOSFÉRICA
Z01-1	1.19	Buena	Z03-1	2.29	Buena
Z01-2	0.52	Buena	Z03-2	6.92	Aceptable
Z01-3	4.38	Buena	Z03-3	4.22	Buena
Z01-4	2.22	Buena	Z03-4	4.97	Aceptable
Z01-5	5.59	Aceptable	Z03-5	1.72	Buena
Z01-6	1.94	Buena	Z03-6	9.33	Inadecuada
Z01-7	1.85	Buena	Z03-7	5.32	Aceptable
Z01-8	0.42	Buena	Z03-8	18.11	Mala
Z01-9	1.06	Buena	Z03-9	8.57	Aceptable
Z01-10	1.39	Buena	Z03-10	5.29	Aceptable
Z01-11	0.61	Buena	Z03-11	3.07	Buena
Z01-12	2.85	Buena	Z03-12	7.27	Aceptable
Z01-13	10.66	Inadecuada	Z03-13	4.16	Buena
Z01-14	5.12	Aceptable	Z03-14	2.30	Buena
Z01-15	2.04	Buena	Z03-15	5.70	Aceptable
Z01-16	8.14	Aceptable	Z03-16	6.15	Aceptable
Z02-1	6.16	Aceptable	Z04-1	3.50	Buena
Z02-2	3.68	Buena	Z04-2	1.22	Buena

Z02-3	3.48	Buena	Z04-3	1.51	Buena
Z02-4	2.32	Buena	Z04-4	1.30	Buena
Z02-5	5.98	Aceptable	Z04-5	1.25	Buena
Z02-6	8.73	Aceptable	Z04-6	1.84	Buena
Z02-7	3.18	Buena	Z04-7	4.62	Aceptable
Z02-8	1.92	Buena	Z04-8	2.34	Buena
Z02-9	6.84	Aceptable	Z04-9	1.06	Buena
Z02-10	2.52	Buena	Z04-10	1.79	Buena
Z02-11	2.71	Buena	Z04-11	0.38	Buena
Z02-12	0.60	Buena	Z04-12	2.18	Buena
Z02-13	1.60	Buena	Z04-13	3.44	Buena
Z02-14	2.33	Buena	Z04-14	2.89	Buena
Z02-15	3.13	Buena	Z04-15	3.62	Buena
Z02-16	4.19	Buena	Z04-16	1.45	Buena
Z05-1	1.15	Buena	Z07-1	1.16	Buena
Z05-2	0.17	Buena	Z07-2	4.21	Buena
Z05-3	1.64	Buena	Z07-3	3.14	Buena
Z05-4	0.90	Buena	Z07-4	4.52	Aceptable
Z05-5	2.05	Buena	Z07-5	0.71	Buena
Z05-6	1.54	Buena	Z07-6	0.01	Buena
Z05-7	0.43	Buena	Z07-7	3.15	Buena
Z05-8	4.32	Buena	Z07-8	1.20	Buena
Z05-9	2.03	Buena	Z07-9	2.53	Buena
Z05-10	0.08	Buena	Z07-10	9.54	Inadecuada
Z05-11	3.75	Buena	Z07-11	4.90	Aceptable
Z05-12	4.20	Buena	Z07-12	4.59	Aceptable
Z05-13	2.34	Buena	Z07-13	3.32	Buena
Z05-14	0.91	Buena	Z07-14	1.93	Buena
Z05-15	5.64	Aceptable	Z07-15	1.21	Buena
Z05-16	1.15	Buena	Z07-16	5.96	Aceptable
Z06-1	8.77	Aceptable	Z08-1	0.77	Buena
Z06-2	2.34	Buena	Z08-2	0.65	Buena
Z06-3	1.75	Buena	Z08-3	0.37	Buena
Z06-4	0.64	Buena	Z08-4	0.20	Buena
Z06-5	0.95	Buena	Z08-5	0.64	Buena
Z06-6	1.76	Buena	Z08-6	4.03	Buena
Z06-7	3.06	Buena	Z08-7	0.47	Buena

Z06-8	3.36	Buena	Z08-8	0.01	Buena	
Z06-9	8.05	Aceptable	Z08-9	2.80	Buena	
Z06-10	3.24	Buena	Z08-10	3.37	Buena	
Z06-11	4.10	Buena	Z08-11	3.40	Buena	
Z06-12	4.17	Buena	Z08-12	4.05	Buena	
Z06-13	4.69	Aceptable	Z08-13	0.78	Buena	
Z06-14	1.63	Buena	Z08-14	6.96	Aceptable	
Z06-15	3.67	Buena	Z08-15	1.69	Buena	
Z06-16	6.02	Aceptable	Z08-16	1.65	Buena	
Z09-1	1.79	Buena	Z10-1	1.20	Buena	
Z09-2	4.55	Aceptable	Z10-2	0.78	Buena	
Z09-3	3.99	Buena	Z10-3	3.14	Buena	
Z09-4	2.45	Buena	Z10-4	2.45	Buena	
Z09-5	0.00	Buena	Z10-5	0.24	Buena	
Z09-6	0.62	Buena	Z10-6	1.34	Buena	
Z09-7	0.31	Buena	Z10-7	0.21	Buena	
Z09-8	0.00	Buena	Z10-8	1.20	Buena	
Z09-9	0.67	Buena	Z10-9	4.77	Aceptable	
Z09-10	4.15	Buena	Z10-10	0.94	Buena	
Z09-11	1.28	Buena	Z10-11	1.99	Buena	
Z09-12	5.62	Aceptable	Z10-12	2.78	Buena	
Z09-13	12.93	Inadecuada	Z10-13	2.12	Buena	
Z09-14	3.64	Buena	Z10-14	3.36	Buena	
Z09-15	4.38	Buena	Z10-15	5.13	Aceptable	
Z09-16	6.92	Aceptable	Z10-16	2.70	Buena	

Conclusiones

Los niveles de concentración de monóxido de carbono en el área estudio, permiten identificar sectores críticos como la Plaza Minorista, El Palo con El Huevo y la Av. Ferrocarril, donde se obtuvieron valores cercanos a la norma colombiana, y en particular para el sector de El Palo con El Huevo se superaron los límites permisibles establecidos tanto para norma horaria como octohoraria. Se diferencia el sector de la Alpujarra por presentar los niveles de concentración de CO más bajos del estudio.

De acuerdo con la clasificación del Índice de Calidad PSI, el 77.5% de los sitios monitoreados presentan una calidad del aire buena, el 19.3% se clasifican dentro de la categoría de aceptable y el 2.5% presenta una calidad del aire inadecuada. Sólo uno de los sitios determino una calidad del aire mala. Se observa que los sitios afectados por los mayores niveles de ruido, también presentan niveles de concentración de CO importantes. De igual forma estos sitios están asociados a vías de alto flujo vehicular que permite correlacionar éstos fenómenos de contaminación con las fuentes

	móviles. El uso de la geoestadística como herramienta de análisis, permitió corroborar los resultados obtenidos estadísticamente, identificando los sectores de mayor contaminación por ruido y las áreas en las cuales se encontraron las más altas concentraciones de monóxido de carbono. Del estudio podemos concluir que dentro del sector del Centro de la Ciudad de Medellín existe contaminación por ruido para casi la totalidad del área, en cambio se encuentra que a pesar de algunas observaciones puntuales de muy alto nivel, los promedios de concentraciones de monóxido no revelan contaminación del aire para la zona de estudio. El único punto que de forma categórica supera las normas establecidas tanto para ruido como para concentración de monóxido de carbono es el que se ubica en el sector de El Palo con El Huevo; de esta forma se concluye que el centro de la ciudad de Medellín no presenta contaminación ambiental por Monóxido de Carbono, de acuerdo al estudio realizado.

Nombre del proyecto	**Efectos sobre la salud de la contaminación por ruido y monóxido de carbono y prevalencia de síntomas respiratorios en el centro de Medellín, Hernando Restrepo Osorio. 2004.**
Objetivos	**General** Describir la prevalencia de hipoacusia y de síntomas respiratorios asociados a la contaminación por ruido y monóxido de carbono en la población que labora en el centro de la ciudad de Medellín. **Específicos** • Estimar la prevalencia de hipoacusia de la población que labora en el centro de Medellín por edad, sexo y nivel de contaminación por ruido. • Establecer la prevalencia de síntomas respiratorios de la población que labora en el centro de Medellín por edad, sexo y nivel de contaminación por monóxido de carbono.
Contaminantes y/o efectos estudiados	Hipoacusia y síntomas respiratorios.
Metodología: • **Datos de origen** • **Muestreo** • **Tipo de análisis**	**tipo de estudio** Se trata de un estudio transversal descriptivo sobre la prevalencia de síntomas y respiratorias y de intoxicación por monóxido de carbono, además de la prevalencia de pérdida auditiva en personas que laboran en el centro de la ciudad de Medellín. Este estudio esta basado en investigaciones realizadas sobre contaminación del aire por Monóxido de carbono (CO) y la intensidad de Ruido en el centro de Medellín; realizado por la Secretaria del Medio Ambiente, la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá y varias universidades de la ciudad. **población y muestra** La población de estudio se encuentra localizada en el centro de la ciudad de Medellín, en un área aproximada a un cuadrado de 2 km x 2 km, que cubre básicamente la zona amarilla o anillo central de la ciudad. Comprendida entre la Av. Ferrocarril, Cll. San Juan y Av. Oriental. Esta zona está catalogada como zona comercial, por el que la población de estudiada son personas que laboran en el comercio formal e informal en el centro de Medellín. El número de personas seleccionadas fue de 400. Para la toma de la muestra, se tuvo como base: una lista de personas que laboran en el centro de la ciudad, dato suministrado por Planeación Municipal. Para un mejor análisis de los resultados, se tomaron dos grupos de estudio, denominados de Mayor exposición y Menor exposición, ambos con el 50% de la población. Para la denominación del nivel de exposición, se tuvo en cuenta los resultados del estudio realizado por la Secretaria del Medio Ambiente entre el 2002-2003 de Medellín.

	Teniendo en cuenta la distribución por zonas del centro de la ciudad de Medellín, (ver figura 1 y tabla 11), se tomaron 11 sectores ubicados en las 9 zonas comerciales, ya que de la zona 1 no se seleccionaron sectores, debido a esta zona es considerada residencial. Seis sectores fueron tomados como lugares de *Mayor Exposición* y cinco sectores de *Menor Exposición* según los niveles de contaminación por ruido y monóxido de carbono repartidos por toda la parrilla central. • Para los *Sectores con Mayores Niveles de Contaminación* se tuvo en cuenta que coincidieran, los resultados de ruido iguales o superiores a 72dB(A) y la concentración de monóxido por encima de 8 ppm (nivel considerado de intervención, en el que resultados superiores a este se debe comenzar a tomar medidas de intervención) . • Para los *Sectores con Menor Nivel de Contaminación* se tuvo en cuenta que los niveles de ruido sean menores a 68 dB(A) y menores en el nivel de intervención de monóxido de carbono (8 ppm).
Resultados	**Efectos auditivos** La prevalencia estimada de hipoacusia según el índice ELI en 4.000 hercios fue de 12,8 por ciento en el oído derecho y de 13,0 por ciento en el oído izquierdo. Tales valores se consideran elevados, si se comparan con los obtenidos en poblaciones laborales y generales. En la refinería de ECOPETROL, en trabajadores no- expuestos tal prevalencia fue de 11,9 y de 8,0 por ciento en expuestos (Londoño, 1998). En mujeres trabajadoras expuestas al ruido debajo de 80 dB en una empresa de confección en Medellín la misma prevalencia fue de 7,8 por ciento en el oído derecho y de 8,7 por ciento en oído izquierdo (Restrepo, 2002). También, en las poblaciones expuestas a la contaminación por ruido de aviones del aeropuerto El Dorado de Engativá y Fontibón, la prevalencia fue de 6,9 por ciento en hombres expuestos y de 2,7 por ciento en mujeres expuestas (Londoño *et al.,* 2004) La prevalencia de hipoacusia por edad estimada en este estudio en las frecuencias no conversacionales confirmó la asociación positiva establecida en anteriores trabajos. Desde el punto de vista audiométrico, las prevalencias estimadas de hipoacusia en las frecuencias de los 4.000 y los 6.000 hercios no muestran diferencias significativas entre las poblaciones expuestas a niveles de ruido por debajo de 65 dB y 72dB y más. Llama la atención que en el presente estudio, las prevalencias puntuales en 4.000 y 6.000 hercios son muy similares, resultado que induce a pensar que para exposiciones inferiores a 80 decibeles, la aparición precoz del daño auditivo no es tan clara en la frecuencia de 4.000 hercios, a diferencia de lo hallado en poblaciones expuestas a más de 85dB (Restrepo, 2002). En poblaciones expuestas a más de 85dB se sigue encontrando que la primera frecuencia que se altera es la de 4.000 hercios, resultado similar al encontrado en la población laboral de ECOPETROL, en el cual se encontró que la primera

	frecuencia comprometida fue la de 4.000 hercios con una prevalencia de 34% y luego la 6.000 hercios con un 24,6%; en el oído derecho la prevalencia fue de 36,4% y en el oído izquierdo, de 26,6%. Estos hallazgos inducen a pensar que en la exposición ambiental por debajo de 85dB, las células ciliadas de la cóclea que primero se afectan son las más cercanas al estribo, con una respuesta fisiopatológica diferente a la que se da en una exposición por encima a los 85dB. Se ha discutido que la clasificación ELI -índice de pérdida temprana de la audición- presenta con frecuencia falsos negativos cuando solo se tiene en cuenta una frecuencia aguda, razón por la cual algunos investigadores han impulsado la clasificación Larsen (Cristancho J, 2002) La experiencia de la Universidad de Antioquia permite afirmar que el índice Larsen presenta un sesgo hacia la positividad, razón por la cual se ha propuesto una modificación al índice ELI de Herman, que indica un daño auditivo en quienes presentan una disminución del umbral auditivo de 30 o más decibeles en las frecuencias de 4.000 o 6.000 hercios (Londoño, 2000). El ELI extendido (en 4.000 y 6.000 hercios) por sexo y por edad presentó unos resultados que coinciden con lo referido en la literatura Internacional: mayor compromiso en el sexo masculino y en personas mayores. La hipoacusia según el índice de Larsen mostró unas prevalencias estimadas excesivamente altas, que no se correlacionan con la evolución fisiopatológica del daño auditivo inducido por ruido, pues no es lógico que se presente una prevalencia de 13,8% en el grado I -que significa un daño precoz- y que se presente una frecuencia del 10,3% en el grado III, que indica un compromiso de frecuencias conversacionales que suele presentarse tardíamente después de muchos años de exposición. Es muy posible que los resultados obtenidos indiquen que este índice clasifique como positivos casos que no corresponden a exposición al ruido. Resultados muy diferentes y mucho más lógicos presenta el indicador SAL, según el cual el 98% de los participantes gozan de una capacidad auditiva normal (SAL A y B) y solo el 2,1% presentan una disminución de la misma (SAL C en adelante). Estos resultados muestran una buena relación con los resultados que se observan según el índice ELI. Por otra parte, el estudio detecta una alta prevalencia de hipoacusia con compromiso social de la audición. Al hacer una revisión exhaustiva de los perfiles audiométricos anormales se encontró que cinco curvas cumplen con rigor el perfil neurosensorial, lo que indica que la prevalencia hallada es de 1,2 por ciento, prevalencia que es similar a la encontrada en poblaciones expuestas a más de 85 dBA en empresas que tienen un buen programa de protección auditiva. En la interpretación de los resultados audiométricos es necesario tener en cuenta que se tomaron criterios de exposición a ruido ambiental (exposición para 24 horas) y por esta razón el criterio de exposición fue menor de 68 dB(A) para un grupo y mayor de 72 dB(A) para el otro grupo. Los perfiles encontrados muestran unos umbrales audiométricos similares a poblaciones ocupacionalmente expuestas a niveles de ruido por encima de 85 dB(A). El

	deterioro auditivo encontrado no solo es debido a la contaminación proveniente del ruido al laborar en el centro de Medellín, sino que también esta asociado a otras exposiciones no laborales. La población estudiada señalo que las principales fuentes de contaminación son las bocinas de vehículos automotores, el perifoneo de vendedores ambulantes y ventas callejeras de música utilizando equipos de sonido inadecuadamente en el espacio público; estas tres situaciones enunciadas se consideran prevenibles y podrían ser significativas en la prevención del deterioro auditivo de las personas que laboran u habitan en el Centro de Medellín. El decreto 948 del 5 de junio de 1995 del Ministerio del Medio Ambiente en el artículo 44 prohíbe el uso de altoparlantes y amplificadores en zonas de uso publico y de aquellos que instalados en zonas privadas generen ruido que trasciendan el medio ambiente, salvo para la prevención de desastres, atención de emergencias y difusión de campañas de salud. **Síntomas y enfermedades respiratorias** Los resultados encontrados en el presente estudio reflejan dificultades en la interpretación de intoxicaciones leves ya que se ha discriminado por debajo y por encima del TLV (nivel de intervención) de 8 ppm, puesto que la literatura internacional ha estudiado la concentración que producen intoxicaciones graves que precipitan el estado de coma y posteriormente la muerte. Cuando se distribuyen las poblaciones por encima y por debajo del 50% TLV (nivel de intervención) se encontraron deferencias estadísticamente validas entre los catalogados como expuestos (por encima del 50% del TLV) y no expuestos (por debajo del 50% TLV) cuando se pregunta “fatiga excesiva frecuentemente”. En la fisiopatología de la intoxicación por CO se ha referido que precozmente se pueden presentar síntomas como el descrito, en la experiencias de estudio ambiental y ocupacional en nuestro medio no encontramos referencias sobre esta posible asociación Los resultados en la prevalencia de tos, expectoración y sibilancias fueron similares a los encontrados para la ciudad de Medellín en el estudio de “prevalencia de síntomas respiratorios crónicos en Colombia“(Caballero A, 2004). Exceptuando la prevalencia de la disnea que fue de 38,5% en el presente estudio y de 26% en el referido. En el mismo estudio el cual fue aplicado en una muestra de 5239 sujetos la prevalencia de sibilancias a nivel nacional fue de 39,2%, en tanto que el resultado del presente estudio para el centro de Medellín fue de 49,8%; con respecto a la disnea los resultados fueron del 30,0 y 38,5% respectivamente. En estudios realizados en España los síntomas de tos, expectoración y sibilancias fueron similares, mostrando diferencias llamativas en cuanto a la disnea ya que para ellos el concepto de disnea se refiere a presencia de ahogo al subir un piso con un porcentaje del 10,4, mientras que en este caso se define la disnea como presencia de ahogo caminando rápido en lo plano o subiendo una cuesta suave, cuyo resultado presenta un 38,5%. Sin embargo para la ATS subir una cuesta suave y subir un piso es equivalente, lo cual sugiere que existe una diferencia significativa en este estudio con respecto al referido. Según el estudio la gran mayoría de los bronquíticos crónicos por diagnóstico

	sintomático no han consultado al medico, lo cual refiere que la asistencia de esta población donde un especialista es bastante baja.
Conclusiones	**Efectos auditivos** La prevalencia de pérdida temprana de la audición en frecuencia de 4.000 es de 19,8%. La prevalencia en hombres para ELI 4.000 es de 22,7% del total de hombres y 9,2% del total de mujeres. La prevalencia según edad es de 12,7% entre los 18 y 29 años de edad, de 20% entre los 30 y los 39 años y de 23,5% entre 40 y 65 años de edad. La prevalencia del ELI Extendido (4.000 y 6.000) es de 24,8% correspondiendo el 28% a hombres y el 12,6% en las mujeres. Por edad el 14% (18-29 años), 26,1% (30-39) y 29,5% (40-65 años). La pérdida social de la audición por el Índice SAL es de 2,1%. La pérdida social de la audición por el Método de la Asociación Médica Americana (AMA) es de 2,3%. El umbral auditivo promedio para la población estudiada es 15 dB(A) para las frecuencias de 500, 1.000 y 2.000, de 18 dB(A) para 3.000 y de 23 dB(A) para 4.000, 6.000 y 8.000. El perfil audiométrico encontrado en la población que labora en el Centro de Medellín es similar al perfil característico de las personas expuestas a niveles de ruido ocupacional por encima de 85 dB(A) en empresas que no cuentan con un buen programa de salud auditivo. La clasificación de la exposición a ruido de la población por el método AMA es más rigurosa desde el punto de vista matemático, lo cual permite ser mucho más asertiva que otras metodologías, mostrando resultados muy similares a la clasificación del índice SAL. La distribución de población por niveles de exposición entre menos de 68 dB(A) y por encima de 72 dB(A) no tiene valor predictivo en la evaluación de los umbrales auditivos y por lo tanto se ratifica que la distribución poblacional por exposición tiene validez epidemiológica ocupacional poniendo como valor límite 85 dB(A). **Síntomas y enfermedades respiratorias** La prevalencia de Tos y Expectoración fue de 14% en el total de la población. Las Sibilancias que pueden significar hipereactividad bronquial fueron reportadas en el 50% de los encuestados, en tanto que la Disnea fue de 38,5% y la Gripa del 42,5%. Al dicotomizar la población entre expuestos con punto de corte de 8 ppm no se

	encuentran diferencias significativas para los principales síntomas respiratorios del cuestionario de la ATS lo que ratifica que no existe correlación entre síntomas respiratorios y niveles de exposición por monóxido de carbono. La prevalencia de Asma es de 10% para los menores de 40 años y de 5% para los mayores. La prevalencia de Asma referida para mujeres es de 10,7% y en hombres de 7%. La prevalencia de Bronquitis crónica para menores de 40 es de 5,9% y de 9,0% para los mayores de 40años. Por sexo es de 6% y 8,2% para mujeres y hombres respectivamente. La prevalencia de síntomas respiratorios crónicos y tabaquismo en los venteros ambulantes del centro de la ciudad de Medellín es mayor que la referida en estudios anteriores, en los cuales se ha aplicado la misma metodología, y han sido realizados en la población general de la ciudad de Medellín. La mayor prevalencia de los síntomas se asocia al consumo de tabaco.

Nombre del proyecto	**Modelo de emisiones atmosféricas para el Valle de Aburrá. MODEMED. 2001. Maria Victoria Toro.**
Objetivos	**General** ➢ Conocer la formación y el transporte de contaminantes fotoquímicos, utilizando un modelo de pronóstico a mesoescala y un modelo de dispersión fotoquímico euleriano en el Valle de Aburrá (Medellín, Colombia), donde la topografía compleja formada por la cordillera de los andes, proporciona unas condiciones adversas para dispersión de contaminantes atmosféricos. **Específicos** ➢ Determinación de las emisiones de especies químicas, tanto orgánicas como inorgánicas, que provienen de las fuentes antropogénicas, debidas al transporte y a los procesos productivos; y las emisiones biogénicas provenientes de la vegetación, adaptando los métodos de la EPA y de CORINAIR al medio real de estudio. ➢ Identificación del campo de vientos o líneas de transporte en una región con topografía compleja y con características meteorológicas de una región tropical. ➢ Simulación y estudio de la contaminación Fotoquímica en la troposfera de una zona urbana y, en particular del Valle de Aburrá. (Medellín-Colombia) para un día típico. ➢ Verificación del mecanismo de reacción obtenido en la simulación, mediante la correlación de éstos resultados con los datos de la calidad del aire.
Metodología: **Datos de origen.** **Muestreo.** **Tipo de Análisis.**	**Para la simulación y la dispersión de especies reactivas sistema EUMAC ZOOMING MODEL (EZM).** Para esta simulación se utiliza el sistema EUMAC (European Modelling Of Atmospheric Constituent) Zooming Model, el cual es un conjunto de programas para la modelización del flujo de viento, el transporte y la transformación de los contaminantes en una escala local o regional. Los modelos principales son el modelo de mesoescala no hidrostático MEMO, y el modelo de dispersión fotoquímica MARS. Además ya que este ultimo requiere datos de las emisiones contaminantes, se ha desarrollado un modelo emisiones. **Metodología para el tráfico rodado.** Para la estimación de las emisiones provenientes del tráfico rodado fue necesario conseguir datos sobre el flujo de vehículos por las diferentes vías de la ciudad de Medellín, la red vial, y las características del parque automotor. Los datos necesarios para el estudio se obtuvieron de la secretaria de tráfico rodado y transporte del municipio de Medellín, Bello, Itagüí y Envigado, así como del departamento administrativo de Planeación Metropolitana y el Fondo de Prevención Vial Nacional. **Para el tráfico rodado:** Para la estimación de las emisiones provenientes del tráfico rodado, fue necesario conseguir datos sobre flujo de vehículos por las diferentes vías de la ciudad de Medellín, la red vial y las características del parque automotor.

	La información utilizada en la red de aforos de la secretaria de transportes y tráfico rodado de la ciudad de Medellín pertenece al periodo comprendido entre los años 1997 y 2000 inclusive. Los aforos con los que se trabajó fueron obtenidos a través de equipos de aforo manuales y automáticos. En total éstos aforos contaron con 18 tarjetas automáticas, 70 detectores vehiculas, 8 tarjetas aforadores manuales un medidor de velocidad y distancia y una estación semipermanente de aforo automático. Los datos recopilados poseen algunas deficiencias como el no registro de la duración del aforo (no se dispuso, en todos los casos, de información durante las 24 horas) y tampoco se contó con la detección del tipo de motocicletas. **Para las emisiones biogénicas:** Las emisiones procedentes de la vegetación juegan un papel importante en la química troposférica. Se ha establecido mediante diversos inventarios que contribuyen a las dos terceras partes de las emisiones globales (Guenther, et al 1994), excediendo incluso a las emisiones antropogénicas. La caracterización de las emisiones Biogénicas es compleja por la gran variedad de especies vegetales. La composición y las cantidades de los más de 40.000 COV encontrados dentro de las células de las plantas varían de cientos a miles en cada especie. Las emisiones biogénicas, son evaluadas a corto plazo y están influenciadas por factores ambientales como la temperatura, la radiación solar y la humedad relativa principalmente, y en menor medida por la humedad de la hoja la precipitación y la intensidad del viento. La emisión de los monoterpenos está influenciada por la temperatura, la del isopreno por la temperatura y al radiación solar. Las variaciones a gran escala de las emisiones aún no están bien definidas debido a tres aspectos: Variación de la emisión entre hojas de un mismo individuo, variación entre hojas de diferentes individuos de la misma especie y entre especies. Los compuestos (Isopreno y monoterpenos) son especialmente interesantes dada su alta reactividad fotoquímica. **Para las emisiones industriales:** La estimación de las emisiones industriales para el área de estudio se realizó por dos métodos diferentes: Monitoreos directos en la chimenea y por factores de emisión. Los datos de los monitoreos se extrajeron de los archivos del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Estos fueron realizados por la Universidad de Antioquia, Ingeaire y UPB, entre 1995 y 2003. Los registros presentan las emisiones de material particulado, los óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno. Se hizo un promedio de 20 horas de trabajo por industria, estimando que algunas industrias trabajan 24 horas, 16 u 8 horas. Se quitaron las 4 primeras horas del amanecer debido a que la mayoría de la producción de las industrias es en el día.

	Las fuentes para las que no se encontraron datos de monitoreos se calcularon utilizando los factores de emisión de la EPA (AP-42) (EPA, 1998). Estos factores relacionan la cantidad de contaminante emitido con la cantidad de producto o de combustible consumido.
Contaminantes y/o efectos estudiados	Combustibles, material particulado, SO2, NOx, NO, NO2, CO, COV's, biogénicos (isoprenos y monoterpenos).
Resultados	Entre las 10 y las 12 del día la concentración de ozono va aumentando conforme se va desarrollando el mecanismo de reacción fotoquímica. Según este se va consumiendo en su mayoría el NO2 por la reacción de fotólisis. Estas concentraciones son arrastradas hacia el suroeste dentro del Valle, donde se incrementan las emisiones del tráfico aumentando la cantidad de ozono. Los Oxidantes generados son transportados hacia el sur y suroeste del Valle sobre pasando la cordillera, mostrando las máximas concentraciones en cercanías al municipio de la estrella. El desplazamiento cubre una longitud de cerca de 60 Km. desde el norte y 50 kilómetros de ancho. Según el modelo, las zonas que reciben una mayor concentración de ozono corresponden al centro de Medellín e Itagüí, con una concentración máxima de 170 ppb, y la Estella 190 ppb. El valor máximo se localiza en las zonas rurales de las montañas. Estos niveles de ozono superan los valores límites legales permitidos 120 ppb, según el decreto 02 de 1982 de la república de Colombia para medias horarias en la mayor parte del Valle, por lo que es importante implementar medidas de control de las emisiones del transporte rodado que es las fuente con mayor contribución de los óxidos de nitrógenos. Se observa que en la madrugada es baja la cantidad de éste contaminante y se ve localizado puntualmente en el centro de la ciudad. A éste hora igualmente el viento es de baja velocidad y la dispersión es mínima; más tarde se presenta la congestión del tráfico rodado en el valle, donde se encuentra el centro de Medellín, las concentraciones alcanzan un máximo de 4600 ppb y se dispersan moderadamente a lo largo del Valle sin sobre pasar las montañas indicando que a esta hora se presenta una capas de mezcla baja, que seguir el modelo tiene una altura máxima de 200 m sns. Al medio día las concentraciones son similares a las de la mañana, y se puede apreciar como la altura de mezclas es mucho más ancha o es nula o debido al calentamiento del suelo y al desarrollo de la turbulencia, haciendo que el penacho se forme y se distribuya el CO hacia el sur oeste sobrepasando la cordillera para bajar por la ladera, llegando al cañón del Río Cauca.
	La determinación de las emisiones de especies químicas, tanto orgánicas como inorgánicas, provenientes de las fuentes antropogénicas y las fuentes biogénicas, calculadas utilizando las metodologías de la EPA y CORINAIR, reportaron valores horarios de 47 compuestos orgánicos seleccionados teniendo en cuenta el mecanismo de reacción química EMEP.

Conclusiones	Los resultados reportaron que la mayor fuente de contaminación es el tráfico rodado con una cantidad global de 73878 t/año, que representa el 50% del total emitido en el Valle de Aburrá. De este porcentaje, el 71% corresponde a CO, el 11% a NOx, el 17% a COV y el resto a partículas suspendidas y SO2. La segunda fuente en importancia, y que emite un total de 69029 t/año son las industrias que son, además, las mayores contribuyentes de partículas suspendidas (49%) y de SO2 (27%). Las fuentes biogénicas que liberan en su mayoría COV (95%) participación con el 4% del total emitido por todas las fuentes. La emisión de contaminantes atmosféricos en el Valle de Aburrá, debido al tráfico rodado se presenta con mayor intensidad en la zona central urbana y centro occidental de la ciudad de Medellín, con horario crítico a las 7 y 19 LST.

Nombre del proyecto	**Evaluación del material particulado en suspensión en el Valle de Aburrá. Echeverry L. Carlos A. Boletín de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá Nº 8. Noviembre de 2001.**
Objetivos	**General:** Evaluar el material particulado presente en el Valle de Aburrá, de tal manera que le permita al Área Metropolitana del Valle de Aburrá como autoridad Ambiental priorizar las medidas de gestión ambiental y control frente a este contaminante. **Específicos** • Estudiar las características fisicoquímicas de las partículas existentes en la atmósfera del Valle de Aburrá. • Validar un modelo de dispersión de material particulado para determinar el grado de aporte en las concentraciones de material particulado existentes en una zona dada. • Cuantificar la participación real de fuentes de contaminación que permitan definir las denominadas áreas-fuente, estipuladas en el decreto 948 de junio 5 de 1995. • Identificar la concentración de fondo de material particulado en el Valle de aburrá y las áreas fuente identificadas. • Proporcionar pautas para el manejo y prevención de la contaminación atmosférica por material particulado, en las áreas identificadas como críticas. • Revisar las normas Colombianas referente a este contamínate y proponer los ajustes y cambios necesarios para su aplicación.
Contaminantes y/o efectos estudiados	TSP, PM10, metales (cromo, plomo , manganeso, magnesio, hierro, calcio, cobre) y hollín
Metodología: • **Datos de origen** • **Muestreo** • **Tipo de análisis**	Para el estudio de partículas en suspensión en el Valle de Aburrá se utilizaron muestreadores de partículas totales (hi-vol), y de partículas respirables (PM10), realizando evaluación de concentraciones de fondo en tres sectores del Valle de Aburrá: sector Norte (Barbosa, Giradota y Copacabana); sector Central (Bello , Medellín, Itagüí, Envigado, La Estrella y Sabaneta); y sector Sur (Caldas). Se realizó una simulación de la calidad del aire utilizando el modelo ISCLT (Industrial Source Complex Long Term) desarrollado por EPA (USA). Se cuantificaron las concentraciones de metales pesados y hollín, en el material particulado colectado en los filtros.
Resultados	Los resultados se analizaron según: Decreto 02 de enero 11 de 1982 Ministerio de Salud Colombia; decreto 948 de junio 5 de 1995 Ministerio del medio ambiente – Colombia. A partir de la localización y cuantificación de emisiones de partículas y de la simulación de la calidad del aire con el modelo ISCLT, se identificaron dos áreas fuentes de importancia: Sur e Industriales, en las que la densidad de emisiones sobrepasó los 48 Kg/h-Ha, y la concentración de material particulado en suspensión fue mayor a 100 µg/m^3.

	Los metales más comunes encontrados en el material particulado son: hierro, manganeso y calcio con concentraciones no representativas; el hollín tuvo mayores concentraciones en los sitios asociados a alto tráfico vehicular.
Conclusiones	• Las concentraciones de PM10 se encuentran como principal problema de contaminación atmosférica por partículas suspendidas en el Valle de Aburrá. • Las concentraciones de fondo se identifican como un intervalo de concentraciones y no como valores fijos; esto se debe a que la calidad del aire es un fenómeno ambiental dinámico y complejo, que muestra variablidad alta en el tiempo y el espacio. • Se detectó un gradiente de concentraciones de fondo de partículas suspendidas totales y respirables, aumentando de norte a sur del Valle de Aburrá. • En el Valle de Aburrá se distinguen dos áreas: las que necesitan atención especial por sus altas densidades en emisión de partículas y las áreas-fuente en las que sus emisiones de partículas totales suspendidas sobrepasa la norma anual. • Se plantean algunos cambios recomendados para la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá.

Nombre del proyecto	**Consultoría para la evaluación de la calidad del aire, intensidad de ruido y sus efectos en la salud en 25 sitios de alto tráfico vehicular de la ciudad de Medellín, Universidad de Medellín – Universidad de Antioquia. Informe nº 1, contrato nº 470018171 - 470018172 de 2005. Medellín, septiembre de 2006.**
Objetivos	**General** Evaluación de la calidad del aire, intensidad de ruido y sus efectos en la salud en 25 sitios de alto tráfico vehicular de la ciudad de Medellín.
Metodología: **Datos de origen.** **Muestreo.** **Tipo de Análisis.**	Para conocer los principales elementos que condicionan las emisiones vehiculares y su impacto en la calidad del aire, se identificaron las vías de alto tránsito vehicular según estudios de la Secretaría de Transito y Transportes del municipio de Medellín. Entre el 26 de septiembre de 2005 y el 23 de enero de 2006 se realizaron visitas de campo por parte del equipo técnico y médico para seleccionar los posibles puntos de medición tomando en consideración que reunieran las condiciones de una unidad de muestreo (ubicación geográfica, tipo de construcción, actividades y otros factores influyentes en el ambiente a evaluar), así como las necesidades del equipo médico. La selección de los sitios y ubicación de los equipos de muestreo se realizó teniendo en cuenta los siguientes criterios: - Ubicación de obras civiles. - Ubicación de núcleos humanos. - Objetivo del programa de monitoreo. - Tipos y características de las fuentes más importantes. - Los usos del suelo. - La meteorología. - Condiciones de seguridad. - No se recomienda emplear generadores eléctricos para el suministro de energía para los equipos de muestreo. Se utilizaron los siguientes criterios para la ubicación final de los equipos de muestreo (PM-10 y muestreador de tres gases): - Se debe localizar el muestreador en un área sin obstrucciones para el flujo de aire en un arco de 270°, especialmente en la direcc ión de las fuentes. - La distancia del muestreador a un obstáculo debe ser al menos dos (2) veces que el obstáculo sobresale arriba del muestreador. - Alrededor del área de influencia de las fuentes en estudio, se recomienda ubicar los equipos de muestreo a lo largo del perímetro de las fuentes o en sitios viento arriba y viento abajo de las mismas. - En las cercanías no debe haber chimeneas. La altura de la toma de muestra de los equipos debe estar a una altura sobre el nivel del suelo que oscila entre 2 y 15 m, especialmente en áreas residenciales. Colocar la toma de muestra de los Hi-Vol a una altura mayor de 2 metros previene el muestreo de partículas asentadas debido a las corrientes de aire.

	Cuando no se puede garantizar lo anterior, el Hi-Vol debe ubicarse a nivel del suelo en lotes que cuenten con superficies duras que no posean depósitos de partículas o que estén cubiertos de vegetación no muy espesa. - Debe haber un espacio mínimo de las vías (> 50 m). Esto varía con la altura del monitor. - Condiciones de logística de los sitios. **Periodo de medición** Los muestreos se realizaron entre el 23 de enero y 10 de marzo de 2006 para los sitios de muestreo seleccionados. Cada punto se monitoreo durante 5 días (lunes a viernes). Las muestras de PM10, NO2 y SO2 se recolectaron durante un período de muestreo de 24 horas. Como periodo de medición para el CO, O3 y ruido se escogió el comprendido entre las seis de la mañana y la diez de la noche (16 horas), en el cual se incluyen la horas de mayor circulación vehicular. Se colectó un total de 125 muestras de partículas respirables (PM10), 125 muestras de de dióxido de azufre (SO2) y 125 muestras de dióxido de nitrógeno (NO2). **Dióxido de azufre.** por medio de la técnica analítica por vía húmeda de la pararrosanilina (American Public Health Association and Environmental Protection Agency). **Dióxido de nitrógeno.** El método del arsenito de sodio provee una medida de la concentración másica del dióxido de nitrógeno en el aire ambiente (American Public Health Association and Environmental Protection Agency).
Contaminantes y/o efectos estudiados	En el presente estudio se consideró importante determinar las concentraciones de partículas menores de 10 micrómetros (PM10), monóxido de carbono (CO), ozono (O3), dióxido de nitrógeno (NO2) y dióxido de azufre (SO2), así como los niveles de presión sonora debido a la relación directa que existe entre algunos de estos contaminantes y el parque automotor.
Resultados	No se lleva a cabo una comparación de las concentraciones obtenidas en campo con la norma anual (70 µg/m^3, 80 µg/m^3 y 100 µg/m^3 respectivamente), ya que el periodo de muestreo fue tan solo de 5 días en cada punto de muestreo; sin embargo, si las concentraciones de PM10 presentan el mismo comportamiento que el registrado en el periodo de muestreo para un periodo de 12 meses, posiblemente cuatro (4) puntos no cumplirían con la norma anual de calidad del aire para el año 2006 [Parque de Belén (punto 9), Colombia × Carrera 65 (punto 12), Casa de la Cultura (punto 17) y Avenida Oriental × Caracas (punto 24)] y tres puntos estarían muy cerca de ella [Carrera 65 × Calle 33 (punto 11), Cerca de Buenos Aires (punto 22) y Parque de Cristo Rey (punto 23)]. Los sitios de muestreo que presentan los valores promedio más bajos para PM10 son Universidad de Medellín (punto 8), Barrio San Javier (punto 4) y Sena de Pedregal (punto 2) con una concentración de 34, 35 y 36 µg/m^3

	respectivamente. En la tabla 4.3 se presenta un listado de los cinco (5) puntos de medición que presentan las concentraciones promedio de PM10 más altas en el periodo de muestreo. Prácticamente en todos estos 5 puntos, la concentración promedio de PM10 supera la norma de calidad del aire anual (70 µg/m^3). En promedio, todos los puntos de muestreo presentan una calidad ambiental que se encuentra en la categoría de "Aceptable". De los 125 datos de calidad del aire (5 mediciones diarias en 25 puntos), el 78% presentan una calidad ambiental que se encuentran en la categoría de "Aceptable" y el 22% en "Inadecuada". El Parque de Cristo Rey (punto 23), Colombia × Carrera 80 (punto 13) y Colombia × Carrera 65 (punto 12) son los puntos que presentan más días con una calidad del aire en la categoría "Inadecuada".
Conclusiones	En términos generales se concluye que los 25 puntos de medición seleccionados no se presentan problemas de contaminación del aire por partículas respirables (PM10), óxidos de azufre (SO2), óxidos de nitrógeno (NO2) y ozono (O3). Por lo tanto las concentraciones de estos contaminantes no explicarían los hallazgos de salud encontrados. Mediante la utilización del índice de calidad del aire (ICA), el cual relaciona de forma ponderada todos los contaminantes evaluados, se determinó que los 25 puntos evaluados presentan una calidad ambiental que se encuentra en la categoría "Aceptable", a pesar de que en algunos puntos se encuentran concentraciones de monóxido de carbono que sobrepasan la norma horaria y octohoraria durante el periodo de muestreo. Es importante anotar que los índices de calidad del aire se establecen con base en las normas de calidad del aire a corto plazo (24 horas o menos) y por lo tanto no tienen en cuenta los efectos a largo plazo. Desde ese punto de vista, hay cuatro sitios de medición que posiblemente no cumplirían con la norma anual de calidad del aire [Parque de Belén (punto 9), Colombia Carrera 65 (punto 12), Casa de la Cultura (punto 17) y Avenida Oriental Caracas (punto 24)] si las concentraciones de PM10 presentan el mismo comportamiento que el registrado en el periodo de muestreo para un periodo de 12 meses. Las concentraciones registradas de CO oscilaron entre un máximo de 30.32 ppm [Poblado (punto 25)] y un mínimo de 1.13 ppm [Sena de Pedregal (punto 2)] para los veinticinco sitios de muestreo seleccionados, poniéndose de manifiesto el nivel crítico de este contaminante en algunos de los puntos de muestreo. Los niveles de monóxido de carbono medidos permiten identificar sectores críticos como El Poblado (punto 25), Universidad de Antioquia (punto 20), Colombia Carrera 65 (punto 12), Parque de Cristo Rey (punto 23) y El Palo con el Huevo (punto 19), donde se obtuvieron valores por encima de la norma de calidad del aire para un periodo de 8 horas (8.8 ppm). En cuanto a ozono, la Universidad de Medellín (punto 8), Robledo (punto 15), Villa de Aburrá (punto 10) y Palos Verdes (punto 16) fueron los sitios de muestreo en los que se incumplió la norma horaria de calidad del aire para ozono (0.061 ppm), con 5, 3, 2 y 1 ocasiones respectivamente.

	En cuanto a la norma de calidad del aire para un periodo de 8 horas (0.041 ppm), los siguientes son los puntos de medición en los que se incumplió la norma en algunas ocasiones: Universidad de Medellín (punto 8), Robledo (punto 15), Palos Verdes (punto 16).

Nombre del proyecto	**Evaluación de las partículas suspendidas totales (PST) y partículas respirables (PM10) en la zona de guayabal, medellín, Colombia.** **Alfredo Gómez, Enrique Henao, Eliana Molina y Francisco Molina. Septiembre de 2003.**
Objetivos	**General** Determinar los niveles de concentración de las partículas suspendidas totales (pst) y partículas respirables (pm10) en la zona de guayabal, medellín, durante un período de cinco meses en el año 2000.
Contaminantes y/o efectos estudiados	PST y PM10
Metodología: • **Datos de origen** • **Muestreo** • **Tipo de análisis**	Se realizó el seguimiento de la calidad del aire en el Centro Administrativo Descentralizado (CERCA) de Guayabal, a través del monitoreo de las concentraciones de PST y PM10; el período de seguimiento cubrió cinco meses del 10 de mayo al 13 de octubre de 2000, para un total de 157 días, durante los cuales se tomaron 124 muestras de PST y PM10. La calidad del aire se evaluó con base en los conceptos, criterios y metodología del Decreto 948 de 1995, expedido por el Ministerio de Medio Ambiente de la República de Colombia y el Decreto 02 de 1982, expedido por el Ministerio de Salud de Colombia. Para el muestreo de PST se utilizó un medidor de alto volumen (hi-vol) y las partículas respirables se midieron con un PM10; a condiciones de referencia (25º C y 1 atm). Los datos fueron analizados utilizando el sistema de análisis de datos SPSS versión 10.0.
Resultados	"Se logró obtener 101 parejas de datos diarios de PST y pm10, lo cual permitió hacer una correlación poco explorada en Colombia, con resultados de R2= 0,91. Esto permite en estudios futuros una economía importante ya que midiendo PST, se puede estimar con alta confiabilidad el valor de PM10. La fracción PM10/PST arrojó un promedio de 0,62 indicando una participación importante de partículas respirables con respecto al total de partículas suspendidas."
Conclusiones	"La concentración diaria de PST registrada fue de 113 $\mu g/m^3$ valor inferior a la norma diaria para Colombia (400 $\mu g/m^3$), sin embargo las concentraciones

	presentaron una tendencia a superar la norma anual de 100 µg/m^3. Las concentraciones de diarias de PM10, con promedio de 74 µg/m^3, no superaron ninguna vez la norma diaria DE 150 µg/m^3 (US EPA), sin embargo existe la tendencia a superar la norma anual (50 µg/m^3)".

Nombre del proyecto	**Evaluación de la Calidad del aire en zonas rurales de Valle de Aburrá. CORANTIOQUIA, GIA (UPB).Octubre 2005.**
Objetivos	**General** Evaluar la calidad del aire en zonas rurales que rodean al Valle de Aburrá y que hacen parte de la jurisdicción de Corantioquia. **Específicos** ➢ Monitorear la concentración de O_3, NOx, SOx, CO, en tiempo real y con equipos con protocolos de calibración. ➢ Monitorear la concentración de partículas respirables PM10, en tiempo real y con equipos con protocolo de calibración. ➢ Realizar mediciones de dirección y velocidad del viento, temperatura, presión barométrica, y radiación solar. ➢ Determinar los episodios de contaminación atmosférica en las zonas monitoreadas. ➢ Evaluar los contaminantes utilizando indicadores como el AQI (Air Quality Index). ➢ Observar y analizar la evolución horaria de la concentración de O_3, NOx, SOx, CO, a lo largo del día.
Metodología: **Datos de origen.** **Muestreo.** **Tipo de Análisis.**	Estas evaluaciones fueron realizadas de acuerdo al Decreto Nº 02 de 1982 y el Decreto 948 de 1995 ambos de la República de Colombia. Para la evaluación de PM10, se tomó como referencia las normas NAAQS (US-EPA). SELECCIÓN PUNTOS DE MONITOREO: La selección de estos, se ha realizado teniendo en cuenta las directrices de Corantioquia. Los puntos seleccionados pretenden cubrir el área rural del Valle de Aburrá y el área urbana del Municipio de Envigado, que pertenece a la jurisdicción de Corantioquia, y que presenten mayores problemas de contaminación según la experiencia de las territoriales Aburrá sur y Aburrá norte: Caldas (Codesarrollo), Caldas (la Valeria), Envigado (Sofasa), Itagüí (Manzanillo), Envigado (planta de Ayurá), Bello(Gases de Antioquia), Girardota (Transmetano), Copacabana (Comfama), Barbosa (papelsa), San Cristóbal (Subestación de energía EPM). La selección de los puntos ha sido complicada debido al difícil acceso en los sitios escogidos; por tal motivo se ha tratado de cumplir con los requisitos de ubicación dictados por la US-EPA. Los datos fueron tomados con mediciones realizadas con estación móvil. En cada estación de monitoreo se hicieron mediciones durante 15 días; del 19 de mayo al 3 de junio de 2005.

	El índice de calidad para ozono por estación se calculó con base en el índice de calidad del aire (AQI) de la US-EPA; se consideró dos alternativas para el ozono, para 8 horas continuas y para 1 hora de acuerdo con la norma de la NAAQS que establece que, una vez sean analizadas ambas alternativas se considera la mas desfavorable; para el caso en cuestión, la situación mas desfavorable fue siempre las 8 horas continuas.
Contaminantes y/o efectos estudiados	O_3, NOx, SOx, CO, PM10
Resultados	**Resultados para monitoreos de Ozono (O_3):** Es importante resaltar como solo una de las estaciones analizadas reportó un índice de calidad bueno en el 100% del tiempo de monitoreo de 15 días, que es Comfama-Copacabana; transmetano-Girardota, tiene su índice de calidad en un 100%, entre aceptable y bueno, y tres estaciones reportaron un índice de calidad pésimos como son: Manzanillo–Itagüí con 2.8%, Ayurá-Envigado con 2.5%, y gases Antioquia-Bello con 0.6%. Adicionalmente se reportaron porcentajes de índices de calidad malos en gases de Antioquia – Bello (0.9%), EPM San Cristóbal (0.7%), sofasa Envigado (1.8%), Ayurá-Envigado (5.3%), manzanillo-Itagüí (7.8%) y la Valeria-Caldas (0.9%); e inadecuados en Papelsa-Barbosa (1.62%), gases de antioquia (1.5%), EPM San Cristóbal (10.1%), Sofasa – Envigado (9.9%), ayurá – Envigado (9.3%), Manzanillo-Itagüí (9.8%), Codesarrollo Caldas (1.3%), y la Valeria-Caldas (4.1%). El índice de la calidad de aire para ozono, en términos generales para el norte del área rural del Valle de Aburrá, es bueno. Sólo para la estación Papelsa – Barbosa se reporta un 0.3% del índice en inadecuado, esto se debe posiblemente a la presencia de varias industrias cercanas a la estación de monitoreo. **Índice de calidad del aire para PM10 por estación:** Muestra que el 95.6% de la zona rural del Valle de Aburrá y el área urbana del Municipio de Envigado, tiene el índice de calidad entre bueno y aceptable; sólo el 4.4% del tiempo monitoreado, la calidad es inadecuada. La participación por estaciones en este porcentaje de inadecuado es Sofasa-Envigado con un 37.5 % y gases de Antioquia-Bello con un (6.3%).
Conclusiones	Los resultados de las mediciones de CO, Nox y Sox, no sobrepasaron las normas vigentes sobre calidad del aire. Solo dos contaminantes sobrepasan las normas de calidad del aire y son: Ozono (O_3), y PM10. **Para ozono se determinó:** El índice de calidad para ozono en todo el valle de Aburrá se distribuye de la siguiente forma: 83% bueno, 9% aceptable, 5% inadecuado, 2% malo y

	1% pésimo. Se determinó que en las zonas occidental (EPM San Cristóbal y Manzanillo-Itagüí) y oriental (Gases de Antioquia-Bello y Ayurá-Envigado) del Valle de Aburrá, son sumideros de los contaminantes por su ubicación geográfica ya que las corrientes de vientos transportan estos, a todo lo largo del Valle en dirección Norte-Sur desde los sitios donde se originan hasta éstos lugares. Hay una notable influencia de variables meteorológicas, como las calmas presentadas en la estación EPM-San Cristóbal, que evitan que los contaminantes producidos en el sector se dispersen, y las variables de contaminación (debido a la cercanía de vías de alto flujo vehicular en las cuales los procesos de combustión a Diesel y gasolina generados por los vehículos automotores), emiten gran cantidad de gases primarios que por efectos de la radiación y las reacciones fotoquímicas son transformados en ozono. La única estación que no presentó episodios durante el tiempo de muestreo de 15 días fue Comfama – Copacabana, en ésta los análisis reportaron un índice de calidad bueno en el 100% del tiempo de monitoreo. La estación transmetano-Girardota tiene su índice de calidad en un 100% entre bueno y aceptable. Asimismo en Ayurá-Envigado se reportaron 61 episodios, en Sofasa - Envigado 47 y en EPM-San Cristóbal 59, siendo estas situaciones preocupantes por el número de veces que se rebasan la norma en un periodo corto de muestreo. Tres estaciones reportaron índices de calidad pésimos como son Manzanillo-Itagüí con un 2.8%, Ayurá-Envigado con un 2.5% y gases antioquia- Bello con un 0.6%. Estos índices de calidad alertan sobre la salud para las personas que se exponen por largos periodos de tiempo a éste tipo de contaminantes. Especialmente los efectos se pueden presentar en Manzanillo-Itagüí, Ayurá – Envigado donde los porcentajes son mayores y más críticos. **En el caso de PM10:** Para el presente estudio se presentaron dos estaciones que rebasan la norma NAAQS (US-EPA) y que fueron Sofasa-Envigado con 7 episodios y Gases de Antioquia-Bello con 1, registrando un 37.5% y un 6.3% de calidad del aire para PM10 inadecuado respectivamente. El AQI para éste contaminante en todo el Valle de Aburrá es 95.6% entre bueno y aceptable. Sólo el 4.4% del tiempo monitoreado, la calidad es inadecuada. Esta situación se explica debido a que en el caso de Gases Antioquia-Bello tiene en su cercanía calderas importantes de explotación de material pétreo como es canteras de Colombia así mismo, por un costado de ésta pasan importantes vías nacionales por las que circulan gran cantidad de vehículos automotores tanto a diesel como a gasolina confirmando que los procesos de combustión vehicular aportan material particulado a la atmósfera. Esta última situación es común a Envigado-Sofasa.

Nombre del proyecto	**Diagnóstico Ambiental Municipio de Girardota. (Capítulo 1.5. Recurso Atmosférico). Realizado por el Municipio de Girardota y Corantioquia, (convenio interadministrativo 4377 de 2002) y Corambiente.**
Objetivos	**General** Determinar los lineamientos para la planificación, administración y gestión ambiental del municipio de Girardota, mediante la formulación de un Diagnóstico Ambiental concertado con la comunidad que permita direccionar las políticas, programas y proyectos de orden ambiental. **Específicos** • Diagnosticar la situación ambiental actual del municipio de Girardota, mediante la participación de la comunidad, la recopilación de información y el trabajo de campo. • Presentar una propuesta de formulación incluyendo las políticas, programas y proyectos que permitan una adecuada planificación de los recursos naturales y del medio ambiente y que contribuyan al municipio de Girardota a alcanzar un desarrollo sostenible. • Identificar los problemas ambientales que se presentan en el municipio y señalar las posibles soluciones, teniendo en cuenta aspectos ambientales específicos.
Contaminantes y/o efectos estudiados	• Hollín, CO, NOx, SOx, material particulado en suspensión, olores por sustancias químicas, y orgánicas. • Enfermedades respiratorias (alergias, asma, infección respiratoria aguda)
Metodología: • **Datos de origen** • **Muestreo** • **Tipo de análisis**	Se describen las fuentes de contaminación atmosférica tales como las empresas asentadas en las zonas urbanas y rurales del municipio de Girardota; a grandes rasgos se definen los efectos que producen los contaminantes atmosféricos. Con el fin de evaluar el impacto de las fuentes fijas en la salud, se analizó la presencia e incidencia de tales efectos en la población del Municipio de Girardota, a través de indicadores sociales y de un seguimiento epidemiológico. Como indicadores sociales se han considerado las quejas y conflictos de la comunidad causadas por la contaminación atmosférica por fuentes fijas. El seguimiento epidemiológico se realizó mediante la compilación de los índices de morbilidad por enfermedades respiratorias en la población infantil. Se consultó en la Dirección Local de Salud los registros de quejas de la comunidad por emisiones atmosféricas provenientes de las industrias, encontrándose quejas de la comunidad del barrio Aurelio Mejía y del barrio La Florida. Se consultó por medio de una encuesta con los presidentes de Acción Comunal de barrios y veredas posiblemente afectados por la contaminación atmosférica, sobre la presencia de evidencias de ésta, tales como hollín, partículas y olores.

	Las condiciones de los criaderos de animales se evaluaron teniendo en cuenta su mantenimiento, que era un dato suministrado por la persona que atendía la visita, las condiciones de higiene que se evaluaba como buena, regular y muy regular, y el nivel de olor, el cual tenía una calificación de muy bajo, bajo, medio y alto. Los datos de origen de contaminación atmosférica fueron tomados de: • Boletines de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá. • ECHEVERRI, Carlos et al. Evaluación del material particulado en suspensión en el Valle de Aburrá. En: Boletín de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá. Medellín No. 8; (nov 2001); p.34. • Evaluación del Impacto de las Fuentes Fijas, Móviles, de Ruido y de Olores sobre la Calidad del Aire del municipio de Girardota. Sandra Ríos. 2003 Para obtener los datos de morbilidad fueron consultados los siguientes centros de salud del municipio de Giradota: Hospital San Rafael, Seguro Social, Centro Integral de Salud Comfama y CES (Corporación para Estudios en Salud). Los datos de Gozsalud y Cruz Roja no se consultaron.
Resultados	(Análisis de resultados según decreto 02 de 1982 - Colombia) **Monitoreos de material particulado de la estación Liceo Manuel José Sierra, Municipio de Girardota (febrero 2001 a abril de 2003):** En el año 2001 no se excedió la norma anual para TSP (100 μg/m^3), en ningún mes, sin embargo, en el mes de febrero la norma fue sobrepasada una vez (109 μg/m^3) y en marzo 2 veces (111 y 115 μg/m^3). Para el año 2002, los promedios mensuales no excedieron la norma anual, pero durante el mes de marzo se alcanzaron consecutivamente concentraciones de 96, 98, 116 y 121 μg/m^3; durante los meses de julio a octubre no hay reportes de datos debido a la suspensión del monitoreo. En el año 2003 tampoco se registran datos mensuales que sobrepasen la norma, pero en el mes de abril se sobrepasa la norma anual en dos ocasiones, con valores de 103 y 155 μg/m^3. Según los registros obtenidos en esta estación de monitoreo, nunca se ha excedido la norma diaria (400μg/m^3). La mitad de los datos obtenidos durante los años 2001 y 2002 se encuentran entre 41 y 60 μg/m^3 y sólo un 3% excede la norma anual. En ningún caso se excedió la norma diaria de 400 μg/m^3. **Monitoreo de material particulado de la estación de resultados estación Colegio Colombia. Municipio de Girardota:** Con base en los resultados obtenidos en las encuestas realizadas, se determinó monitorear durante 7 días en el barrio Aurelio Mejía. El lugar seleccionado fue

	el Colegio Colombia. El periodo de muestreo comprendió desde el miércoles 4 de junio al lunes 16 de junio de 2003. Los datos de [PST] están a condiciones de referencia, por tanto se compara con el valor dado por la norma anual que es 100 $\mu g/m^3$. La mayor concentración de material particulado se encuentra el día 13 de junio/03 (65 $\mu g/m^3$) y la menor concentración corresponde al día 14 de junio/03 (16 $\mu g/m^3$). Por tanto, ningún día se sobrepasó la norma anual (100 $\mu g/m^3$) y mucho menos la norma diaria (400 $\mu g/m^3$). Esto se debe principalmente a la alta frecuencia de lluvias durante el periodo de muestreo. **Monitoreo de gases SOx y NOx de la estación Liceo Manuel José Sierra. Municipio de Girardota:** En la estación Liceo Manuel José Sierra se cuenta con un equipo medidor de tres gases, con el fin de monitorear SO_x y NO_x. Aunque su operación comenzó desde el año 2001, solo se encuentran registros del primer semestre de 2002. NOx (21$\mu g/m^3$) y SOx (10 $\mu g/m^3$), el promedio de los datos para el primer semestre del año 2002, están muy por debajo de la norma anual Colombiana, decreto 02 de 1982 (100 $\mu g/m^3$) para c/u. **Tasa de incidencia de enfermedad respiratoria:** **tasa de incidencia** = # personas afectadas/ total población * 1000 En el año **2001** la población total del Municipio de Girardota era 36.940, por tanto la tasa de incidencia de enfermedades respiratorias es: Incidencia de enfermedades de las vías respiratorias superiores fue de 47 niños por cada 1.000 habitantes. Incidencia de enfermedades de las vías respiratorias superiores fue de 185 casos por cada 1.000 niños. Incidencia de enfermedades de las vías respiratorias bajas fue de 4 niños por cada 1.000 habitantes. Incidencia de enfermedades de las vías respiratorias bajas en el municipio de Girardota fue de 13 casos por cada 1.000 niños. En el **2002** la población total es de 37.789, se encuentra que: <u>Tasas de incidencia en la población infantil respecto a la total es:</u> • Vías respiratorias superiores**: 70** niños por cada 1.000 habitantes. • Vías respiratorias bajas: **12** niños por cada 1.000 habitantes. <u>Tasas de incidencia en la población infantil con respecto a ella misma:</u> Para realizar los cálculos se tuvo presente que la población del municipio de Girardota entre 0 y 14 años en el 2002 era 10.354.

	• Vías respiratorias superiores: **253** casos por cada 1.000 niños. • Vías respiratorias bajas: **45** casos por cada 1.000 niños En el año **2003,** teniendo en cuenta que la población total proyectada es 38.654 y que de éstos 4.946 habitantes se encuentran entre 0 y 5 años, se encuentra que las tasas de incidencia son: <u>Tasa de incidencia en la población infantil respecto a la total</u>: **6** En el primer trimestre del año 2003 la incidencia de Infecciones Respiratorias Agudas en el municipio de Girardota fue de 6 niños menores de 5 años por cada 1.000 habitantes. <u>Tasa de incidencia en la población infantil respecto a ella misma</u>**: 40** En el primer trimestre del año 2003 la incidencia de Infecciones Respiratorias Agudas en el municipio de Girardota fue de 40 casos por cada 1.000 niños menores de 5 años.
Conclusiones	No se presentan conclusiones generales y claras que articulen la información obtenida con cada uno de los aspectos mencionados en cuanto a: contaminación atmosférica por fuentes fijas, seguimiento epidemiológico a la población en enfermedades respiratorias, evaluación de contaminantes por fuentes móviles y encuestas realizadas a la población.

Nombre del proyecto	**Correlación entre fuentes de PST y la contaminación existente en dos zonas de estudio. Medellín Antioquia Colombia. 2004. GIGA (U de A) y GHYGAM (Politécnico JIC).**
Objetivos	**General** Determinar la contribución de PST proveniente de diferentes fuentes de contaminación mediante el ajuste de la correlación entre la composición del PST de muestras ambientales y fuentes de emisión, en dos zonas de estudio de la ciudad de Medellín.
Metodología: **Datos de origen.** **Muestreo.** **Tipo de Análisis.**	Los dos sitios escogidos para este estudio fueron definidos como zona Centro (Aguinaga) y zona Guayabal (San Fernando), ambas estaciones de monitoreo de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá. Para proveer información sobre las características químicas de PST derivadas de las fuentes de contaminación se tomaron muestras de calderas de carbón, calderas de fuel oil, canchas de arena, construcciones, vehículos motor gasolina y ACPM y fuentes biológicas como residuos vegetales, y fueron analizadas las siguientes especies: Oxido de plomo (PbO), óxido de Calcio (CaO), óxido de aluminio (Al_2O_3), óxido férrico (Fe_2O_3) y compuestos volátiles. Los componentes químicos analizados se seleccionaron con base en el conocimiento general de las fuentes y teniéndose en cuenta la experiencia adquirida en investigaciones anteriores. La contribución de PST por las diferentes fuentes fue determinada utilizando un modelo fuente-receptor fundamentado en balance de masa química. La recolección de material particulado en ambiente se realizó con el apoyo técnico de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá, quienes suministraron las muestras ambientales del material particulado en suspensión (36 muestras en total para cada una de las zonas de estudio: Guayabal y centro). Utilizando un muestreador de alto volumen Hil-Vol modelo ACUvol 240. Este equipo fue calibrado después de cada periodo de muestreo controlando una tasa de flujo. La recolección de muestras se llevó a cabo en el periodo comprendido entre abril y diciembre de 2004 y la metodología de muestro incluye el procedimiento descrito por Sánchez y Gómez 2005. Para la cuantificación de metales (Calcio, plomo, hierro y aluminio) en muestras de material particulado recolectadas sobre filtros de fibra de vidrio, se ensayaron, adaptaron y calibraron metodologías reportadas en la literatura con la técnica de espectrofotometría de absorción atómica. Para ello se usaron mezclas de óxidos de los metales mencionados como patrones de calibración. El criterio para seleccionar la metodología adecuada fue obtener un porcentaje de error inferior a 10 al cuantificar los metales en las muestras patrón.

	Para el análisis de hierro y aluminio se tuvo como referencia el método de la ASTM (Standard Test Method for Mayor and Minor Element in Coal and Coke Ash by Atomic Absorption), el cual implica una fusión con tetraborato de litio seguida de una disolución final con HCl. Para la calibración con los patrones impregnados sobre filtros de fibra de vidrio, fue necesario incrementar el tiempo de fusión de 15 minutos a una hora y se debió utilizar adicionalmente HP en la disolución. Para el caso del hierro se debió añadir cloruro de lantano para eliminar las interferencias debidas a la formación de compuestos estables en la llama durante la lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica. Para la determinación de Calcio y Plomo se adquirió información de método General Atomic Absorption Procedure for Trace Metal in Airbone Material Collected on filtres, tomado de methods o fair sampling and analisis. Este método consiste en tratar la muestra con su filtro de fibra de vidrio sobre la cual ha sido recolectada con una muestra de acido nítrico y acido clorhídrico y extraer los metales impregnados por medio de un equipo de ultrasonido. El método resultó ser adecuado para el calcio al agregar cloruro de lantano para eliminar interferencias en la lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica, por la presencia de aluminio en la mezcla. En el caso del plomo, se adicionó cloruro de lantano para eliminar interferencias debidas no sólo a la formación de compuestos estables en el espectrofotómetro, sino también a la presencia de Ca^{2-} y se adicionó Na_2 – EDTA por la presencia de carbonatos en la mezcla patrón. Las concentraciones modeladas se comparan con las concentraciones reales en la zona y se seleccionan aquellas soluciones (combinaciones de factores de influencia) que den errores combinados menores a los estipulados o se puede a su vez promediar estas soluciones para obtener una única solución. Una serie de ecuaciones formuladas y resueltas para una zona dada de estudio determina el impacto de las fuentes sobre esta, partiendo de la suposición de que las masas de partículas se conservan sin cambio químico desde el momento en la cual son emitidas desde la fuente hasta que son capturadas en el filtro de muestreo.
Contaminantes y/o efectos estudiados	PST, fuentes biológicas como residuos vegetales tales como: Oxido de plomo (PbO), óxido de Calcio (CaO), óxido de aluminio (Al_2O_3), óxido férrico (Fe_2O_3) y compuestos volátiles.
Resultados	En los resultados de la caracterización fisicoquímica de las fuentes de contaminación estudiadas se observa que la composición química es variada y se resaltan dos tipos de estructura: orgánicas e inorgánicas, siendo el primer grupo las calderas de fuel oil, vehículos a gasolina y vehículos a ACPM y del segundo las calderas a carbón, vías, canchas de arena y construcciones. Se puede apreciar que el plomo fue el componente de menor contribución general, con muy poca variabilidad. Su contribución porcentual media fue 0.4 y su mediana 0.3, una contribución igualmente baja fue la del hierro cuyas medidas de tendencia central fueron: media 3.1 y mediana 2.9. Medias y mediana por debajo del 15%

	fueron los aportes de la alúmina y del calcio. Se observa que las fuentes aportantes a la contaminación por material particulado de la zona centro y durante el periodo de estudio fueron: Vehículos ACPM 24.3%; fuentes biológicas 17% calderas a carbón 15.2% y otras fuentes con el 13.5%, resultados soportados por los altos valores de la media. Estas cuatro fuentes fueron responsables de cerca del 70 % de la contaminación por material particulado total en la zona. Es importante resaltar el aporte considerable 13.5% que las otras fuentes tiene sobre la contaminación total evaluada y considera que éste es el grupo de fuentes no estimadas ni analizadas fisicoquímicamente, siendo un objeto de investigación para la continuidad de estudios futuros. También se puede observare que las fuentes con aportes menores al 10% fueron en su orden vehículos a gasolina, canchas de arena, calderas de fuel oil y construcciones. Con aportes entre el 10 y el 20% están vías otras fuentes, calderas a carbón y fuentes biológicas. Finalmente la fuente de mayor aporte fue vehículos con ACPM. Para la zona Guayabal, puede apreciarse que las cuatro principales fuentes de PST en su orden son: Otras fuentes, vehículos, ACPM, calderas fuel oil y vehículos a gasolina, responsables en su conjunto del 74% de la contaminación total. Cada una de las fuentes restantes aportan en promedio, menos del 7.10%. Además se pueden observar tres niveles de contaminación así: Con aportes menores al 10% están: Construcciones, vías, calderas de carbón, canchas de arena, y fuentes biológicas; entre el 10 y el 20% están: Calderas de fuel oil y vehículos a gasolina y finalmente por encima del 20% están las otras fuentes aportantes que no se incluyeron en el estudio y los vehículos de ACPM.
Conclusiones	Se logró desarrollar un modelo de correlación que permite estimar los aportes de fuentes seleccionadas a la contaminación generada por material particulado en suspensión, en una zona en la cual se tiene información sobre las características del material particulado y a la vez establecer que la composición química del material particulado existente en una zona estudiada, se puede utilizar como base para conocer las contribución de fuentes de composición química conocida. Para lograr una correlación confiable es muy importante que el análisis químico sea basado en métodos validados mediante patrones de calibración. El estudio de las especies fisicoquímicas existentes en las muestras, reportó amplias variaciones entre muestras, lo cual indica la complejidad del fenómeno y la forma tan variada en que las fuentes contribuyen a la contaminación. Adicionalmente, se pudo demostrar que son diversas las fuentes que contribuyen al problema (origen automotriz, urbano, industrial, otras de origen natural, como es el caso de los residuos vegetales y orgánicos). A partir del análisis se observa que los vehículos de ACPM presentan no sólo el mayor aporte a la contaminación sino también la mayor variabilidad en los datos. Se corrobora que las fuentes: Canchas de arena y vehículos a gasolina son las de menor aporte a la contaminación.

Nombre del proyecto	**Cálculo preliminar de factores de emisión por tráfico vehicular en la ciudad de Medellín; aplicación del programa US-EPA Mobile5a. Sergio Luis Petro Bedoya, Carlos Alberto Robledo Arango. UPB. Escuela de Ingenierías. Fac. de Ingeniería Mecánica Med. 2000.**
Objetivos	**General** Calcular los factores de emisión debidos al tráfico vehicular en la ciudad de Medellín para los contaminantes: monóxido de carbono (CO), hidrocarburos totales (HC) y óxidos de Nitrógeno (NOx), mediante la utilización del programa MOBILE5a desarrollado por la US-EPA. **Específicos** ➢ Estudiar las variables empleadas en el US-EPA MOBILE5a y discutir su aplicabilidad en la ciudad de Medellín. ➢ Calcular los factores de emisión para los años 1995 a 2000, con el fin de observar la evolución en el tiempo de la contaminación por automotores y el impacto conjunto de las medidas adoptadas para la reducción de la misma. ➢ Evaluar el comportamiento de los factores de las emisiones ante variaciones en algunas variables relacionadas por la contaminación por el tráfico vehicular, con el fin de analizar su importancia relativa en este aspecto.
Metodología: **Datos de origen.** **Muestreo.** **Tipo de Análisis.**	Se utilizó el programa MOBILE5a desarrollado por la (US –EPA), alimentando cada una de las variables del programa con valores representativos de las condiciones particulares de la zona de estudio. Aplicando esta metodología se obtuvo los factores de emisión debidos a fuentes vehiculares en la ciudad de Medellín año 2000, para los contaminantes estudiados y para 8 tipos de vehículos que maneja el MOBILE5a. Igualmente se estudió el comportamiento de los factores de emisión compuestos para los años 1995 – 2000. Se recolectó la información variada acerca de la teoría de contaminación por fuentes vehiculares, incluyendo los estudios del tema realizados por el centro de investigaciones para el desarrollo integral (CIDI) y (CIA) U de A. El grupo GIA de la UPB, proporcionó información acerca de la teoría de emisiones atmosféricas, por medio de investigaciones realizadas sobre el tema. También se obtuvo información más específica de la página Web de la EPA. **Variables de modelo:** Las variables de modelo son tasas básicas de emisión o Basic Emisión Rates (Bers) y las tasas de desmejoramiento o Tampering Rates, que representan las ecuaciones básicas de cálculo de las emisiones de monóxido de Carbono (CO), hidrocarburos (HC) y óxidos de nitrógeno (NOx) , para los vehículos de cada tipo y año-modelo. **Variables de la flota:** En el US-EPA MOBILE5a, este grupo está conformado

	por 3 variables: Las tasas anuales de acumulación de millaje; la distribución de registro por edades y tipo de vehículo; y las fracciones de venta diesel. **Distribución de Registro por edades y tipo de vehículos:** Teniendo presente la similitud de las distribuciones de registro, la información necesaria para el cálculo de ésta variable en Medellín, se obtuvo en la secretaría de tránsito del Municipio de Envigado, pues para el año 2000 en el Valle de Aburrá, era la única entidad que disponía de una base de datos completa y sistematizada que permitió el análisis de la información de la forma en que lo necesitaba el programa US-EPA MOBILE5a. El tránsito de Envigado tenía matriculados, aproximadamente, el 25% total de los vehículos que circulaban por todo el Valle de Aburrá (secretarías de tránsito y Medellín-1999). Para las dos variables anteriores, El US-EPA MOBILE5a, exige utilizar los mismos valores para los LDGVs y LDDVs (vehículo liviano a gasolina y diesel) respectivamente. La US-EPA explica esta situación basándose en la dificultad que tendrían los usuarios del programa para desarrollar dicha información en los vehículos a gasolina y a diesel por separado y en que los patrones de uso y las Tasas de Acumulación de Millaje son generalmente iguales para ambos tipos de vehículos. La información de la secretaria de tránsito del Municipio de Envigado, se recibió en la forma de base de datos en hoja de cálculo especificando las siguientes características: Cilindraje, año, modelo, tipo de vehiculo, combustible y servicio (privado/público). A partir del procesamiento de esta información, se obtuvo una matriz de doscientos datos en la que se describe para cada tipo de vehículo, el porcentaje que pertenece a cada año o modelo en particular. El primer paso hacia el análisis de los datos fue la clasificación de los vehículos asignándose a cada uno de los tipos de vehículo descritos, una clasificación dentro de las categorías con las que opera el US-EPA MOBILE5a (LDGV, LDDV, LDGT1, LDGT2, LDDT, HDGT, HDDT, MC) teniendo en cuenta el tipo de combustible de cada vehículo. Para cada categoría se realizó un conteo del número de vehículos pertenecientes a cada año-modelo, hasta el grupo de 25 o más años de antigüedad. Para el cálculo de los factores de emisión para el año 2000, la distribución se realizó con los vehículos de año modelo 1999 hasta el grupo de 1995 o anteriores.
Contaminantes y/o efectos estudiados	CO, HC, NOx.
	Los resultados mostraron que mientras el factor de emisión de los contaminantes CO y HC, es muy sensible a las variaciones en el valor de las variables descritas, para el caso del NOx no lo es, pues la formación de este contaminante depende principalmente de la temperatura que se presente al interior de la cámara de combustión del vehículo. La adición de sustancias oxigenantes en la gasolina utilizada por los vehículos monitoreados permitió observar que las emisiones de CO y HC disminuyen

Resultados	considerablemente al aumentar la concentración de estos, mientras las emisiones de NOx se mantuvieron constantes ante la presencia de oxígeno en el combustible. Para un contenido promedio de aditivos oxigenados de 2.3%, se obtiene una reducción del 20% en la emisión de CO, y de un 7% en la emisión de HC, para las condiciones de la ciudad de Medellín. La emisión de NOx no se ve afectada por la adición de tales sustancias, pues estas son orientadas a aumentar la eficiencia en la combustión y no afectan apreciablemente la temperatura de funcionamiento del motor.
Conclusiones	La diferencia entre el comportamiento de los factores de emisión para el CO y HC con relación al del NOx, se explica por las características de la formación de éstos contaminantes. El CO y los HC se forman debido a la ineficiencia en la combustión en el motor, mientras que el NOx se forma principalmente por las altas temperaturas al interior del vehículo. La eficiencia en la combustión disminuye al disminuir la velocidad, por lo que la emisión de los primeros aumenta, mientras que la temperatura de funcionamiento de motor permanece relativamente constante al fluctuar esta variable, haciendo que la emisión del NOx permanezca estable. Así se puede observar que la emisión de CO y HC para vehículos en marcha mínima o ralentí (4.0 km/h) es casi 6 veces la emisión en velocidad de crucero (40.3 km/h). El desarrollo de este trabajo, permitió establecer la importancia del programa US-EPA MOBILE5a en el cálculo de factores de emisión vehicular para las condiciones específicas de un determinado escenario. Los valores obtenidos, representan la mejor aproximación a las condiciones particulares de la ciudad de Medellín, pues involucran toda la información regional disponible.

Nombre del proyecto	**Actualización y optimización del modelo de emisiones atmosféricas para el Valle de Aburrá MODEMED. Lina Maria García González; Catalina Rico Florez. UPB. Facultad de Ingeniería Mecánica, Medellín, 2003.**
Objetivos	**General** Actualizar el inventario de emisiones del área metropolitana del Valle de Aburrá y mejorar el programa para facilitar y agilizar el análisis de los datos. **Específicos** ➢ Actualizar el inventario de fuentes fijas ubicadas en el área Metropolitana del Valle de Aburrá del 2001-2002. ➢ Calcular y analizar las emisiones biogénicas utilizando el modelo Guenther 93 con valores meteorológicos medidos en la región. ➢ Evaluar las emisiones y el aporte de las fuentes móviles en el inventario total aplicando los factores de emisión calculados para la región, utilizando el modelo MOBILE5a EPA. ➢ Desarrollar una herramienta optima para el cálculo de las emisiones totales. ➢ Evaluar las tendencias de emisiones para el Valle de Aburrá.
Metodología: **Datos de origen.** **Muestreo.** **Tipo de Análisis.**	Se optimizó el inventario realizado por el GIA (2001) mediante la actualización de las emisiones de las fuentes biogénicas con datos actuales medidos en la región utilizando el modelo Guenther 93, las emisiones de las fuentes moviles con los factores de emisión obtenidos por el MOBILE5a (EPA) y las emisiones de las fuentes fijas por medio de la actualización de las industrias en el valle de Aburrá; con el fin de conocer la tendencia en los últimos 5 años. Para el inventario se escogió el modelo BOTTON-UP, se adoptaron los factores de emisión de la EPA para el cálculo de las emisiones industriales y las biogénicas. Los contaminantes considerados se eligieron teniendo en cuenta los mecanismos de reacción química EMEP, del cual se tomaron 21 especies. Se definió una resolución temporal de 1 hora y un área de 40 x 40 Km2 con una resolución espacial de 1x1 Km2, donde están localizados los 10 municipios del Valle de Aburrá. **Para el tráfico rodado:** Para la estimación de las emisiones provientes del tráfico rodado, fue necesario conseguir datos sobre flujo de vehículos por las diferentes vías de la ciudad de Medellín, la red vial y las características del parque automotor. Los datos necesarios para el estudio se obtuvieron de las secretarías de tráfico rodado y transporte de los municipios de Medellín, bello, Itagüí, envigado, así, como del departamento administrativo de planeación metropolitana y del fondo de prevención vial nacional. La información utilizada en la red de aforos de la secretaria de transportes y tráfico rodado de la ciudad de Medellín pertenecen

	al periodo comprendido entre los años 1997 y 2000 inclusive. Los aforos con los que se trabajó fueron obtenidos a través de equipos de aforo manuales y automáticos. En total éstos aforos contaron con 18 tarjetas automáticas, 70 detectores vehiculas, 8 tarjetas aforadores manuales un medidor de velocidad y distancia y una estación semipermanente de aforo automático. Los datos recopilados poseen algunas deficiencias como el no registro de la duración del aforo (no se dispuso, en todos los casos, de información durante las 24 horas) y tampoco se contó con la detección del tipo de motocicletas. **Para las emisiones biogénicas:** Las emisiones procedentes de la vegetación juegan un papel importante en la química troposférica. Se ha establecido mediante diversos inventarios que contribuyen a las dos terceras partes de las emisiones globales (Guenther, et al 1994), excediendo incluso a las emisiones antropogénicas. La caracterización de las emisiones Biogénicas es compleja por la gran variedad de especies vegetales. La composición y las cantidades de los más de 40.000 COV encontrados dentro de las células de las plantas varían de cientos a miles en cada especie. Las emisiones biogénicas, son evaluadas a corto plazo y están influenciadas por factores ambientales como la temperatura, la radiación solar y la humedad relativa principalmente, y en menor medida por la humedad de la hoja la precipitación y la intensidad del viento. La emisión de los monoterpenos está influencida por la temperatura, la del isopreno por la temperatura y al radiación solar. Las variaciones a gran escala de las emisiones aún no están bien definidas debido a tres aspectos: Variación de la emisión entre hojas de un mismo individuo, variación entre hojas de diferentes individuos de la misma especie y entre especies. Los compuestos (Isopreno y monoterpenos) son especialmente interesantes dada su alta reactividad fotoquimica. **Para las emisiones industriales:** La estimación de las emisiones industriales para el área de estudio se realizó por dos métodos diferentes: Monitoreos directos en la chimenea y por factores de emisión. Los datos de los monitoreos se extrajeron de los archivos del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Estos fueron realizados por la Universidad de Antioquia, Ingeaire y UPB, entre 1995 y 2003. Los registros presentan las emisiones de material particulado, los óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno. Se hizo un promedio de 20 horas de trabajo por industria, estimando que algunas industrias trabajan 24 horas, 16 u 8 horas. Se quitaron las 4 primeras horas del amanecer debido a que la mayoría de la producción de las industrias es en el día. Las fuentes para las que no se encontraron datos de monitoreos se calcularon utilizando los factores de emisión de la EPA (AP-42) (EPA, 1998). Estos factores relacionan la cantidad de contaminante emitido con la cantidad de producto o de combustible consumido. **Para el manejo de datos:** El programa de emisiones atmosféricas para el Valle de Aburrá está realizado en Excel, consta de varios libros para cada fuente.

Contaminantes y/o efectos estudiados	Combustibles, material particulado, SO2, NOx, NO, NO2, CO, COV's, biogénicos (isoprenos y monoterpenos).
Resultados	Los estudios realizados para el Área Metropolitana en 1996 y la universidad de antioquia 1999, utilizaron metodologías similares para la estimación de emisiones, emplearon el método de balance de masa y el tipo de inventario escogido, fue el TOP- Down. Se puede apreciar que las emisiones de CO presentan la mayor participación (71%) en los contaminantes atmosféricos. Los resultados de CO son similares en los dos estudios. En el caso de COV, se observa que no presentó ningún cambio, ambos resultados son el 8% de las emisiones totales quedando como el segundo mayor contaminante. Lo mismo ocurre con el material particulado, siendo la emisión del 7%. La mayor variación se presenta en el SOx, púes desde 1996 a 1999, disminuyó en una cuarta parte. El NOx disminuyó a la mitad. Entre 1996 y 1999 se observa que disminuyó la contaminación total, debido a la menor presencia notable de SOx y NOx, la razón de esto puede ser por los avances tecnológicos que permiten el uso de nuevos combustibles que aportan menor contaminación al ambiente. El estudio realizado por el grupo de investigaciones ambientales de la UPB GIA en 1999 se empleó la técnica para la estimación de emisiones por factores de emisión y el tipo de inventario fue el BOTTON-UP, al igual que el presente estudio. Se observa que el CO en ambos estudios es el mayor contaminante, pero a diferencia de los otros estudios, aumentó notablemente entre 1999 y 2003 en un 45%. Esto es debido a los resultados obtenidos de las emisiones vehiculares con el programa norteamericano MOBILE5a que fue aplicado para la ciudad de Medellín (Petro, et al 2000); mientras que los factores de emisión europeos utilizados en 1999, CORINAIR, arrojaron resultados diferentes. En los COV y el material particulado a pesar del transcurso de los años no se observa ningún cambio y continúan en un 7 y un 12% respectivamente, debido a que la industria no presentó un aumento considerable. El NOx disminuyó, debido a que la metodología empleada para las emisiones vehiculares fue diferente en cada estudio el MOBILE5a aproxima los factores de emisión más a la tecnología vehicular del Valle. El SOx aumentó un poco ya que se incluyeron en el inventario nuevas empresas, incrementando así la contaminación, éste aumento no es muy notable debido a que las emisiones de las industrias analizadas en 1999 no variaron considerablemente para el 2003.
Conclusiones	La principal fuente de emisión es el tráfico rodado con una cantidad global de 115969 t/año, que presenta el 59% del total emitido en el Valle. De éste porcentaje, el 89% corresponde a CO, el 2% a NO y el 9% a COV. En éste inventario no se incluyeron las emisiones de TSP y SO2 de los vehículos diesel, al carecer de información al respecto para un trabajo posterior se propone investigar los factores de emisión para TSP y SO2.

	Las industrias son la segunda fuente en importancia, emiten un total de 72413 t/año y son las únicas que aportan partículas suspendidas y SO2. Las fuentes biogénicas son importantes por la liberación de compuestos que participan en la fotoquímica atmosférica. Su aporte al COV a las mediciones biogénicas representa el 95%, aunque sólo representa el 4% del total emitido por todas las fuentes. La emisión de contaminantes atmosféricos en el Valle de Aburrá debido a fuentes vehiculares se presenta con mayor intensidad en la zona central urbana y centro occidental de Medellín, con horario crítico a las 7:00 p.m. Los municipios con mayor densidad industrial son Medellín, Itagüí y Sabaneta, representados en su mayoría, por los sectores alimenticio, textil, químico y metalmecánico. El combustible más utilizado es el fuel oil No. 2, seguido por el carbón bituminoso y el fuel oil. Los municipios con mayor consumo de combustible son Medellín, Itagüí, Bello y Barbosa. Los gases liberados COV por la vegetación en el área de estudio se concentran en su mayoría en los bosques cercanos a Caldas (parque natural) y en la zona de piedras blancas en Santa Elena. Alcanzan la mayor emisión a las 13 horas. Las emisiones de CO representan la mayor participación en los resultados totales del inventario (53.6%) y son aportadas en su gran mayoría por las fuentes móviles, están relacionadas con procesos de combustión incompleta. Las bajas velocidades, la edad del parque automotor y las deficiencias en el mantenimiento de los vehículos, generan menos eficiencia en los motores de los vehículos y por lo tanto un incremento de la emisión de éste contaminante. Las emisiones de material particulado, se encuentran en un segundo lugar de la totalidad de los contaminantes emitidos (17.8%), están relacionadas principalmente con la combustión del carbón industrial. Las emisiones de SO2 ocupan el tercer lugar (10.3%) provienen en su mayor parte de la combustión de energéticos con altos contenidos de azufre, como el carbón utilizado en el sector industrial. Entre 1999 y 2003 se podría concluir que la contaminación aumentó un 25%, éste incremento se debe especialmente a que los datos de afinaron con éste último inventario. Hay que tener en cuenta que las tres fuentes aportaron cambios a los resultados, las emisiones de tráfico rodado poseen gran incertidumbre en el estudio de 1999, por lo dicho anteriormente; las fuente fijas también afectan los resultados finales debido al incremento de empresas y al cambiar la PAR en las fuentes biogénicas, se ve afectada la emisión de COV. Entre 1999 y 2003 se podría concluir que la contaminación aumentó un 25%, éste incremento se debe especialmente a que los datos de afinaron con éste último inventario. Hay que tener en cuenta que las tres fuentes aportaron cambios a los resultados, las emisiones de tráfico rodado poseen gran incertidumbre en el estudio de 1999, por lo dicho anteriormente; las fuente fijas también afectan los resultados finales debido al incremento de empresas y al cambiar la PAR en las fuentes biogénicas, se ve afectada la emisión de COV.

Nombre del proyecto	**Patologías respiratorias en niños preescolares y su relación con la contaminación atmosférica de Medellín.**
Disponibilidad	Proyecto en ejecución.
Referencia	Universidad de Medellín, Facultad de Ingeniería Sanitaria CES, Centro de Investigaciones, Facultad de Medicina
Objetivos	Establecer la asociación entre la concentración de los principales contaminantes atmosféricos en Medellín y la presentación de enfermedades respiratorias en niños menores de seis años.
Metodología	Estudio de tipo cohorte, con cuatro grupos poblacionales según los niveles de exposición a la concentración de contaminantes permitidos por la actual normatividad, así: concentración >100%, 76 a 100%, 51 a 75%, e < 50%. Son 720 niños (repartidos en 8 sitios), previo consentimiento informado de sus padres, 180 en cada subgrupo, y se toman 90 de cada zona, es decir, cada nivel de contaminación es evaluada en dos sitios diferentes de la ciudad, que están georreferenciados (GPS), y de esa forma se establece la distancia de la casa y el preescolar donde asiste el niño, y ninguno de los dos debe estar a una distancia superior a un kilómetro de los muestreadotes. La exposición evaluada es PM10, PM2.5, ozono, hollín y metales. El evento será el desarrollo de patologías respiratorias (IRA, asma, bronquitis) durante nueve meses de observación, que incluirá un análisis económico sobre los costos directos de la atención en salud y la inasistencia escolar por estas enfermedades. La información se recopila mediante una entrevista telefónica mensual (morbilidad sentida).
Resultados y Conclusiones	Aún no hay resultados ni conclusiones porque actualmente está en proceso la investigación
Realizado por	Universidad de Medellín – CES. Jaime Eduardo Ordóñez Molina, Coordinador Componente Salud. Carlos Echeverri, Coordinador Componente Ambiente. Financiado por la Secretaría de Medio Ambiente.

Nombre del proyecto	**Construcción de la línea base de calidad del aire en 10 municipios de la jurisdicción de Corantioquia.**
Referencia	Corantioquia-Universidad de Antioquia (2003). "Construcción de la línea base de calidad del aire en 10 municipios de la jurisdicción de Corantioquia". Contrato inter-administrativo no. 4673 de 2003.
Objetivos	**General:** Construir la línea base de calidad del aire, a partir de mediciones de diferentes contaminantes, identificando los principales problemas de contaminación atmosférica en el municipio, para la toma de decisiones y seguimiento futuro de la calidad del aire. **Específicos:** - Identificar los principales problemas de contaminación atmosférica en los municipios evaluados, para la toma de decisiones y seguimiento futuro de la calidad del aire. - Evaluar la calidad del aire mediante el uso de muestreadores pasivos y equipos de monitoreo convencionales manuales y automáticos. - Evaluar el uso de los muestreadores pasivos, en estudios de base y observación de tendencias de calidad del aire, como una alternativa económica y sencilla en comparación con los equipos activos y automáticos.
Metodología	Estudio en zonas rurales de los municipios de Caldas, La Estrella y Girardota-Barbosa y las zonas urbanas de los municipios de Santafé de Antioquia, La Pintada, Andes, Yarumal, Caucasia, Puerto Berrío y Segovia. En cada municipio se midieron los principales contaminantes atmosféricos acompañado de la medición de variables meteorológicas. (PST, partículas respirables, PM10, dióxido de azufre SO2, dióxido de nitrógeno NO2 y ozono O3. En los municipios ubicados en el valle de Aburrá éstos contaminantes fueron medidos utilizando equipos automáticos. En los municipios restantes se utilizaron equipos activos manuales. Simultáneamente a estas mediciones se trabajó con muestreadores pasivos, en la medición de SO2, NO2, O3 y partículas sedimentables, evaluando la posibilidad de utilizar en un futuro dicha técnica en el estudio de zonas rurales y zonas urbanas pequeñas. En los 10 sitios de muestreo se utilizaron métodos pasivos durante 6 meses, acompañados por métodos activos manuales o automáticos (14 días en el caso de equipos activos manuales y 1 mes para equipos automáticos).
Resultados y Conclusiones	No se presentan problemas de contaminación atmosférica en los municipios de Santafé de Antioquia, La Pintada, Andes, Yarumal, Caucasia, Puerto Berrío y Segovia. En las áreas rurales del valle de Aburrá (Caldas, La Estrella, Girardota-Barbosa), cercanas a zonas industriales y/o densamente pobladas, se presentan los mayores niveles de material particulado, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, pero éstos niveles están por debajo de los estándares establecidos en la norma

	colombiana de calidad del aire (aunque con eventos de violación de la norma horaria de calidad del aire para ozono). De los municipios ubicados por fuera del valle de Aburrá, los municipios de La Pintada, Caucasia, Puerto Berrío y Segovia, reportaron los mayores niveles de material particulado (debido a cercanía del sitio de muestreo a vías importantes de alto flujo vehicular). En las áreas rurales de los municipios de Caldas, La Estrella y Girardota-Barbosa, se presentaron eventos de calidad atmosférica inadecuada. En las áreas rurales del valle de Aburrá se presentan las concentraciones más altas de SO2, NO2, Ozono y partículas sedimentables. La medición con equipos de muestreo pasivo en los 10 municipios, reportó valores correlacionados con los reportados por equipos activos. Para valores superiores a los límites de detección ambos métodos se aproximan a los valores reales medibles, siendo un contraste con los intervalos de concentración no detectables por los métodos colorímetricos, con el cual las diferencias mayores no tienen incidencia en la interpretación de los resultados. Por lo tanto se confirma la validez técnica de los métodos pasivos para las evaluaciones de calidad del aire para los gases estudiados. Los sensores pasivos son una herramienta útil en la evaluación rápida de línea base de calidad del aire, ofrecen resultados en rangos de concentraciones similares a los generados por los equipos activos. Además, el uso de sensores pasivos, representa una ventaja económica frente al uso de equipos activos. De acuerdo con el alcance de éste proyecto, la medición con equipos pasivos en todos los municipios, durante seis meses, tuvo un costo total de $22’140.000 (incluye costo del equipo y análisis), mientras el costo total de medir con equipos activos manuales, durante catorce días para cada uno de los 10 municipios, fue de $13’230.000 (incluye insumos y análisis).
Realizado por	Corantioquia-Universidad de Antioquia. Contrato inter-administrativo no. 4673 de 2003.

Nombre del proyecto	**Construcción de la línea base de calidad del aire en 15 municipios de la jurisdicción de Corantioquia.**
Referencia	Corantioquia, Universidad de Antioquia, Universidad Pontificia Bolivariana (2004). "Construcción de la línea base de calidad del aire en 15 municipios de la jurisdicción de Corantioquia". Contrato inter-administrativo no. 5915 de 2004.
Objetivos	**General:** Medir la calidad del aire en las áreas urbanas y/o rurales de 15 municipios y corregimientos con el fin de obtener un diagnóstico que aporte información para el diseño de una red de monitoreo de la calidad del aire en la jurisdicción de CORANTIOQUIA. **Específicos:** ▪ Determinar las concentraciones de los contaminantes atmosféricos mediante el uso de muestreadores pasivos y equipos de monitoreo convencionales manuales y automáticos. ▪ Identificar los principales problemas de contaminación atmosférica en los municipios evaluados, para la toma de decisiones y seguimiento futuro de la calidad del aire. ▪ Elaborar una propuesta para la implementación de una red de monitoreo de calidad del aire en la jurisdicción de CORANTIOQUIA.
Metodología	Estudio en zonas rurales de los municipios de Santa Rosa de Osos, Segovia, Santa Bárbara, Bolombolo, San Jerónimo, Corregimiento de La Sierra (Dos puntos), El Bagre, Sopetrán, Corregimiento de Camilo C (municipio de Amagá), Cisneros, Corregimiento de Altavista (municipio de Medellín), Sabaneta, vereda Las Palmas (municipio de Envigado) y las áreas rurales de los municipios de Girardota e Itagüí. Se utilizó la misma metodología desarrollada en la primera fase del proyecto (Línea Base 1). En cada municipio se midieron los principales contaminantes atmosféricos (PST, partículas respirables, PM10, dióxido de azufre SO2, dióxido de nitrógeno NO2 y ozono O3) mediante tres sistemas de monitoreo, activo manual, activo automático y pasivo, acompañado de la medición de variables meteorológicas. En las 16 estaciones de monitoreo (en el corregimiento de La Sierra se ubicaron 2 estaciones) se utilizaron métodos pasivos durante 6 meses, acompañados por métodos activos manuales o automáticos, con mediciones durante 15 días. Los resultados del proyecto fueron analizados mediante el uso del indicador de calidad del aire AQI (Air Quality Index), que corresponde a la última actualización realizada al PSI. La evaluación del AQI en los sitios estudiados muestra que en las áreas urbanas de Sopetrán, Camilo C, Bolombolo y en la estación ubicada en la Termoeléctrica en el

	corregimiento de La Sierra, la calidad del aire es buena. En las áreas urbanas de Segovia (estación ubicada en un sector de beneficio del oro), La Sierra (Caserío), Santa Bárbara, Santa Rosa de Osos, El Bagre y Cisneros y en el área rural del municipio de Itagüí, la calidad del aire se clasifica dentro de las categorías de buena y aceptable. En el área rural de Girardota, se presentaron eventos de calidad del aire inadecuada, en Altavista y Las Palmas, se presentaron eventos de calidad del aire mala y en Sabaneta eventos de calidad del aire pésima, debido a los niveles de ozono encontrados en éstos sitios.
Resultados y Conclusiones	Los niveles de calidad del aire en las 11 estaciones ubicadas fuera del valle de Aburrá no superan los estándares establecidos por la norma colombiana de calidad del aire para PST, SO2 y NO2 ni los límites permisibles por la EPA para partículas En las estaciones de Itagüí, Girardota, Altavista, Envigado (Las Palmas) y Sabaneta, tampoco se superan las concentraciones permitidas de PM10, SO2, NO2 y CO. Sin embargo, se reportan episodios de contaminación por ozono que superan el valor límite permisible horario. Las concentraciones de material particulado más altas se registran en las estaciones de Segovia, La Sierra, Altavista y Girardota, las cuales se caracterizan por la actividad industrial en sus alrededores y la cercanía a vías de importante flujo vehicular. La estación Envigado, ubicada en la vereda Las Palmas, registraron los niveles más bajos de material particulado (menores a 20 µg/m3) y por lo tanto estas concentraciones fueron consideradas de fondo. Los niveles de dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno registrados en las 16 estaciones evaluadas son bajos teniendo en cuenta la norma colombiana diaria de calidad del aire para SO2 (400 µg/m3) y la norma colombiana anual para NO2 (100µg/m3). Las mayores concentraciones de éstos gases se registran en Girardota (SO2: 42 µg/m3) y Sabaneta para (NO2: 43 µg/m3). En la mayoría de las estaciones las concentraciones estuvieron por debajo de los límites de detección teóricos para cada contaminante (SO2: 25 µg/m3 y NO2: 9 µg/m3), las cuales se consideran concentraciones de fondo. El ozono, las partículas suspendidas totales y las partículas respirables se identifican como contaminantes críticos en la jurisdicción de CORANTIOQUIA. El dióxido de nitrógeno, el dióxido de azufre y el monóxido de carbono reportan una calidad del aire “buena” para los sitios evaluados, por lo tanto no se consideran contaminantes críticos.
Realizado por	Corantioquia- Universidad de Antioquia – Universidad Pontificia Bolivariana. Contrato No 5915/2004.

Nombre del proyecto	**"Evaluación de Alternativas para la Planificación Energética Sostenible de los Sectores Industrial y Transporte del Área Metropolitana del Valle de Aburrá". Grupo Energía-Ambiente-Economía, Universidad Nacional de Colombia/Sede Medellín, Universidad de Los Andes.**
Objetivos	**General** Realizar evaluaciones de alternativas para la planificación energética sostenible de los sectores industria y transporte de los municipios del Valle de Aburrá. **Específicos** ➢ Actualizar y completar la base de datos de la información energética de los sectores industria y transporte de cada uno de los municipios jurisdicción de la entidad Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA). ➢ Implementar el esquema de modelamiento integral EAE (Energía-Ambiente-Economía), como una herramienta de apoyo a la toma de decisiones que apoye los proyectos actuales de planificación y el diseño de proyectos futuros en los sectores industria y transporte del AMVA, entre ellos proyectos de expansión de infraestructura energética, sustitución energética e innovación tecnológica. ➢ Realizar evaluación de escenarios con el modelo MARKAL sobre proyectos particulares de sustitución energética e innovación tecnológica en los sectores industria y transporte. ➢ Realizar evaluación de escenarios con el modelo MARKAL sobre entrada de nuevos proyectos industriales y de transporte en los municipios del AMVA y su influencia sobre el sistema Energía-Ambiente-Economía. ➢ Realizar evaluación de escenarios con el modelo MARKAL sobre las consecuencias en términos Energía-Ambiente-Economía de restricciones de emisiones para la industria y el transporte. ➢ Estimar emisiones de gases de efecto invernadero por fuente en los sectores industria y transporte. ➢ Estimar, a partir de la modelación bajo el esquema EAE, mapas de emisiones de contaminantes asociados a la actividad energética del sector industria y transporte de los municipios y desplegarlos en el Sistema de Información Geográfica Hidrosig con un alto nivel de discretización geográfica para cada municipio. ➢ Evaluar los impactos económicos, tecnológicos y ambientales de las emisiones de gases de efecto invernadero en el sistema de Energía-Ambiente-Economía de la jurisdicción del AMVA por la implementación del Plan Maestro de Movilidad de la región metropolitana y analizar proyectos particulares sobre el mismo, es decir, propuestas tecnológicas (ej. tipo de buses), propuestas de combustibles y propuestas de esquemas de rutas. ➢

Metodología:	El estudio se apoya en el esquema de modelamiento Energía-Ambiente-Economía (EAE) con el modelo MARKAL. El modelo MARKAL es un modelo de equilibrio para la organización global del sistema energético que satisface demanda final y servicios energéticos bajo restricciones de disponibilidad de recursos y restricciones ambientales. El modelo MARKAL ha sido aplicado a nivel de ciudad, país y regional (conjunto de países), con escalas temporales adaptadas. Además, permite una fácil comparación de resultados de casi todos los países donde se ha usado, ya que los resultados están disponibles en Internet. Durante el proyecto "Evaluación EAE para la Planificación Sostenible de Núcleos Locales: Caso de Aplicación del Área Metropolitana del Valle de Aburrá", realizado por el Grupo EAE de la Universidad Nacional, Sede Medellín, se construyó una base de datos Energía-Ambiente-Economía de los municipios del Valle de Aburrá, incluidos todos los sectores de demanda de la región. Siguiendo la línea de planificación EAE y apoyados en la base de datos mencionada, se busca refinar la escala del modelo para mejorar la representación de los sectores industria y transporte del AMVA. Con base en la actualización de la información y los resultados de la modelación se obtienen impactos económicos, energéticos y ambientales (emisión de gases de efecto invernadero) de los proyectos bajo análisis. El enfoque se aplica sobre las emisiones y los costos de operación del sistema de los sectores industria y transporte en los 10 municipios del AMVA (no incluye un modelo de inmisiones o de circulación acoplado para actuar sobre la dispersión de contaminantes). El diseño metodológico incluye los siguientes pasos: ▪ Reformulación y actualización de los sistemas energéticos de referencia de los sectores de interés. ▪ Revisión de los proyectos realizados en 2005 y 2006 relacionados con inventarios de procesos y emisiones industriales y proyectos actualizados del Plan de Movilidad. ▪ Levantamiento de información secundaria de inventarios industriales de proyectos en marcha y análisis de necesidades de levantamiento de información primaria por municipio. ▪ Procesamiento de la información a la escala de discretización necesaria. ▪ Delimitación temporal y espacial del escenario base del modelamiento. ▪ Calibración y análisis del modelo. ▪ Definición escenarios de modelamiento. ▪ Análisis de resultados de escenarios y retroalimentación de los mismos. ▪ Conclusiones y recomendaciones por escenario. ▪ Talleres de diseminación y difusión. ▪ Despliegue de la base de datos en el sistema ORACLE y despliegue de las emisiones en Hidrosig.

Contaminantes y/o efectos estudiados	Efecto económico, ambiental y energético de las emisiones actuales del sector industria y transporte de los municipios del Valle de Aburrá y de los escenarios de futuros cambios en la utilización energética de estos sectores.
Resultados	El proyecto todavía está en curso y por lo tanto no se dispone de un informe final de resultados. Sin embargo, al término del proyecto se espera contar con los siguientes resultados: ▪ Una base de datos refinada de la información energética de los sectores industria y transporte de los 10 municipios del Valle de Aburrá. ▪ Un conjunto de escenarios evaluados con el modelo MARKAL sobre proyectos particulares de sustitución energética e innovación tecnológica en los sectores industria y transporte. ▪ Un conjunto de escenarios evaluados con el modelo MARKAL sobre entrada de proyectos industriales nuevos en los municipios del Valle de Aburrá y su influencia sobre el sistema Energía-Ambiente-Economía. ▪ Un conjunto de escenarios evaluados con el modelo MARKAL sobre las consecuencias en términos de Energía-Ambiente-Economía de la restricción de emisiones para la industria y el transporte. ▪ Evaluar el costo del sistema energético local actual y futuro. ▪ La estimación de emisiones de gases de efecto invernadero por fuente asociada a la actividad de los sectores industrial y transporte, en el escenario actual y futuro. ▪ La modelación de proyectos para el Sector Industrial, específicamente en lo que respecta a: o Sustitución o introducción de nuevas tecnologías para el abastecimiento o la demanda de vapor y calor directo del sector industrial. o Efecto de cambios en la canasta energética. o Efecto de cambios en la configuración geográfica del sector por entrada o salida de proyectos industriales. ▪ La modelación de proyectos para el Sector Industrial, específicamente en lo que respecta a: o Evaluación del impacto del Plan Maestro de Movilidad. o Sustitución o introducción de nuevas tecnologías para satisfacer la demanda de movilidad. Evaluación del sistema Metroplus bajo diferentes escenarios de asignación energética (DSO y GNV).
Conclusiones	El modelamiento integral del sistema Energía-Ambiente-Economía constituye un insumo fundamental para la planificación energética sostenible del AMVA. No existen estudios de este tipo en el país, por lo cual esta experiencia piloto es importante para validar una herramienta que puede apoyar los procesos de toma de decisiones en cuanto a inversiones en infraestructura energética, sustitución energética e innovación tecnológica en los sectores industrial y de transporte del AMVA. Asimismo, los modelos tipo EAE permitirán a la región simular estrategias para organizarse a sí misma como usuaria y productora eficiente de energía.

Nombre del proyecto	**Plan de Mercadeo Programas de Fuentes Móviles del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (1998)**
Ubicación	Centro de información y documentación Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
Referencia	A02 0212
Objetivos	**General** Realizar un plan de mercadeo para el programa de descontaminación por fuentes móviles manejadas por la unidad ambiental del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. **Específicos** • Diseñar estrategias para promocionar el control de emisión de gases a las fuentes móviles en los 9 municipios pertenecientes al Área Metropolitana del Valle de Aburrá. • Crear una campaña publicitaria de educación para posicionar el control de emisión de gases en las fuentes móviles. • Diseñar una campaña de incentivos para aquellas personas naturales o jurídicas que den cumplimiento a la ley que regula el control a la contaminación del aire por fuentes móviles en el primer año de funcionamiento.
Contaminantes y/o efectos estudiados	Monóxido de carbono, óxidos de azufre y de nitrógeno, hidrocarburos no quemados, material particulado.
Metodología: • **Datos de origen** • **Muestreo** • **Tipo de análisis**	Para realizar el estudio se seleccionó una muestra al azar entre un total de la población, teniendo en cuenta aplicar el instrumento en lugares donde se tuviera acceso a todo tipo de vehículos (particulares y públicos) del AMVA. La encuesta se realizó de manera directa a la muestra, en el momento en que se encontraba ingresando o saliendo los vehículos en los lugares definidos para la recolección de la información.
Resultados	Los resultados demostraron que la mitad de los conductores y/o dueños de vehículos de la jurisdicción del AMVA muestra una actitud positiva con respecto a la protección del medio ambiente, expresando que esta le corresponde a toda la ciudadanía. Solo una mínima parte de la población encuestada no tienen conocimiento de quién debe tener la responsabilidad al respecto. La distribución de estos puntos de vista se refleja así: 77.2% cree que es responsabilidad de toda la ciudadanía, 13.1% cree que al estado, 7.4% a las industrias y el 2.3% no sabe. Se encontró que gran porcentaje de la población considera que la industria es el factor más contaminante para el aire del Valle de Aburrá, indicando que no existe un gran conocimiento entre la población del común acerca de la

	influencia que representan las fuentes móviles en la calidad del aire. Sin embargo, un sector de los encuestados reconocieron las implicaciones en la salud de las emisiones de fuentes móviles. El 74.8% de los encuestados creen que el orden de influencia en la contaminación esta encabezado por las industrias, seguida de los vehículos y de los hogares. Además, el 70% de las personas encuestadas dijo tener conocimiento de los efectos en la salud que tienen los gases emitidos por los vehículos. En general, los conductores y propietarios de vehículos mostraron gran aceptación en hacer parte de la descontaminación atmosférica por medio del control de emisiones vehiculares y expresaron su disponibilidad para realizar chequeos y revisiones con cierta regularidad a sus vehículos. Aunque se encontró que el 28.8 % de los encuestados no tenía conocimiento alguno acerca del programa del control de emisiones de gases vehiculares.
Conclusiones	• Uno de los aspectos importantes encontrados en el estudio realizado y que será de mucha utilidad para la realización de las campañas de información, sensibilización y promoción al programa con fuentes móviles es la responsabilidad asumida por la ciudadanía al afirmar que la protección del medio ambiente es cuestión de todos. • Las personas que conducen vehículos no tienen claro conocimiento de los factores que causan la mayor contaminación al aire, ya que se encentra en el porcentaje más alto 70%. • Existe un gran porcentaje de conductores y/o dueños de vehículos que tienen conocimiento del programa que adelanta el AMVA con fuentes móviles; sin embargo, este conocimiento no es muy claro para los usuarios. • Para los usuarios del control de emisión de gases no existe claridad con lo que este programa significa, y gran parte de ellos suelen confundirlo con cualquier otra revisión que se realiza en los tránsitos municipales o en los diagnósticentros. • A pesar de que los conductores y/o dueños de vehículos dicen tener una actitud positiva con respecto al mejoramiento de la calidad del aire del Valle de Aburrá, no existe entre toda la población conciencia para realizar el control de emisión de control de gases como contribución a este mejoramiento.
Realizado por	Área Metropolitana del Valle de Aburrá – Natalia Andrea Arroyave Hoyos

Nombre del proyecto	**Programa De Protección y Control De La Calidad Del Aire En El Valle de Aburrá (1998)**
Ubicación	Centro de información y documentación Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
Disponibilidad	Medio físico
Referencia	A02 046 – Vol. 1
Realizaron el proyecto	Área Metropolitana del Valle de Aburrá – Universidad de Antioquia – Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid – Universidad Pontifica Bolivariana. Para la elaboración de la propuesta se contó con la coordinación y asesoría del siguiente grupo de profesionales: Francisco Molina Pérez, Myriam Gómez Marín, Maria Victoria Toro Gómez, Enrique Posada, Julio Enrique González Villa, Jaime Ramiro Giraldo.
Resumen	En este estudio se define el sistema de gestión con el que se identifican tres momentos para enfrentar el problema de la contaminación atmosférica. Estos momentos son el conocer, proponer y actuar. El momento conocer esta asociado con la obtención de información básica para la toma de decisiones, como es monitoreo de la calidad del aire, estudios meteorológicos, evaluación de fuentes, estudios epidemiológicos y evaluación de gases tóxicos. En el momento proponer el objetivo que se persigue es desarrollar estrategias para la reducción de emisiones y finalmente, el momento actuar se fundamenta en los proyectos de control de emisiones, educación y actividades de vigilancia y control. La propuesta esta conformada por los siguientes aspectos: ✓ Marco de referencia del Área metropolitana ✓ Diagnostico administrativo de la Unidad Ambiental ✓ Propuesta de estructura administrativa para la Unidad Ambiental ✓ Propuesta de manual de procedimientos ✓ Propuesta de manual de funciones para el programa ✓ Propuesta de coordinación administrativa para el programa En el Marco de Referencia del Área Metropolitana se incluye su naturaleza, estructura, misión, visión, dirección, administración y marco jurídico. Con esta información se pretende ilustrar al lector sobre las generalidades del Área Metropolitana, ubicando así las competencias y actividades que se desarrollan en dicha entidad. El diagnostico administrativo presenta un análisis del estado actual de la

	Unidad Ambiental, en sus aspectos de estructura, procedimientos administrativos y funciones, como variables determinantes del funcionamiento administrativo de la Unidad. Seguidamente se presenta la propuesta de estructura administrativa, en la que se recoge aspectos de los análisis realizados en la primera fase con el propósito de realizar una propuesta integral, así mismo se presenta el diseño de manejo para el programa de protección y control de la calidad del aire. La propuesta del manual de procedimientos plantea la descripción de cómo se integran los instrumentos administrativos a la dirección, coordinación y control del programa, con la parte operativa y procedimental basada en el análisis jurídico. La propuesta del manual de funciones define para el programa de protección y control de la calidad del aire: el personal requerido, función general, funciones específicas y perfil para lograr un eficiente desempeño administrativo y técnico que logre reflejar en el servicio prestado a la comunidad. Por último, se presenta la propuesta de coordinación administrativa para la ejecución del programa, en el que se plantea algunas de las acciones que se deben implementar con las instituciones u organismos con los que se comparte el objetivo de mejoramiento de calidad del aire.

Nombre del proyecto	**Evaluar Los Niveles De Contaminación En Las Zonas Urbanas Del Valle De Aburrá Mediante La Operación De La Red De Monitoreo De La Calidad Del Aire. (Convenio 301/05)**
Disponibilidad	Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Medio magnético)
Objetivos	**General** Evaluar los niveles de contaminación del aire en las zonas urbanas del valle de Aburrá mediante la operación de la red de monitoreo de calidad del aire. **Específicos** • Apoyar el Área Metropolitana del valle de Aburrá como Autoridad Ambiental en el desarrollo del proyecto de Monitoreo de la calidad del aire en los municipios de la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá-Red de Aire. • Operar y efectuar mantenimiento preventivo y correctivo a los equipos de monitoreo de contaminantes atmosféricos existentes en la Jurisdicción del AMVA. • Analizar la información de los monitoreos efectuados de manera que posibilite la planeación y reglamentación del uso del recurso aire. • Divulgar los resultados del monitoreo de la calidad del aire.
Contaminantes y/o efectos estudiados	Partículas suspendidas totales (PST), dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno (tres Gases), partículas menores de 10 micras (PM_{10}), monóxido de carbono, lluvia ácida, ozono y variables meteorológicas.
Metodología: • **Datos de origen** • **Muestreo** • **Tipo de análisis**	Se operaron 15 equipos medidores de partículas suspendidas totales (PST), 6 medidores de dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno (tres Gases), 3 equipos medidores de partículas menores de 10 micras (PM_{10}), 3 medidores automáticos de monóxido de carbono, 2 medidores de lluvia ácida, un equipo medidor de ozono y una estación meteorológica ubicada en la planta San Fernando, sector de guayabal. Dentro de estos equipos están incluidos los medidores de la estación Corantioquia (partículas PM_{10}) y la estación Bello (partículas suspendidas totales y tres gases) que se instalaron el 21 de junio y el 03 de agosto de 2006, respectivamente.
Resultados	Durante el periodo de monitoreo, se encontraron las mayores concentraciones de PST (en promedio geométrico) en las estaciones Universidad Nacional, Politécnico, Edifico de Miguel de Aguinaga e Itagüí, con 129, 102, 102 y 100 µg/m^3, respectivamente. Las estaciones menos contaminadas son Girardota Liceo, La Estrella, Barbosa y Copacabana con 64, 67, 68 y 68 µg/m^3 respectivamente. Para PM_{10}, se encontraron concentraciones cercanas a los 60 µg/m^3. Las relaciones PM_{10}/PST en las estaciones Miguel de Aguinaga y Guayabal fueron de 58% y 64%, respectivamente, valores similares a los encontrados en períodos anteriores.

	Los resultados de las pruebas de laboratorio presentaron concentraciones de dióxido de azufre y de nitrógeno (NO_2 y SO_2) por debajo del límite de detección del equipo analizador. Es decir, los valores de SO_2 y NO_2 se encuentran muy cercanos a cero. Las concentraciones diarias más altas de estos contaminantes se reportaron en las estaciones Politécnico, Itagüí y Universidad Nacional, con 71, 69 y 59 µg/m^3, respectivamente. Las mediciones de monóxido de carbono presentaron concentraciones todas por debajo de la norma Colombiana octohoraria y horaria en los tres sitios monitoreados. Respecto a los datos horarios, los valores máximos encontrados fueron de 10.0 ppm en la estación Miguel de Aguinaga, 9.6 ppm en la estación Área Metropolitana del Valle de Aburrá y 7.7 ppm en la estación Guayabal. El 99,9% de los resultados horarios de ozono son inferiores a 0.061 ppm; valor máximo permisible por la norma Colombiana horaria. En la estación Universidad Nacional, se obtuvieron muestras de aguas lluvias con valores de pH entre 3.1 y 5.7, y de 3.3 y 6.5 en la estación UPB. Estos resultados indican que en estos sectores pueden presentarse eventos relacionados con lluvia ácida. En todas las estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire no se supera la norma diaria en PST y PM_{10} definida en la Resolución 601 de Abril de 2006. Sin embargo, entre el 23 y el 30% de las concentraciones se supera la norma anual de 70 µg/m^3. Las mediciones de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono y ozono indican concentraciones menores a las definidas en la Resolución ambiental colombiana. Por tanto, se puede afirmar que en el Valle de Aburrá no hay problemas serios de contaminación por estos contaminantes. Los resultados del monitoreo de las variables meteorológicas indican que los mayores valores de precipitación y humedad se presentaron en los meses de abril y octubre de 2006. La velocidad del viento presento sus valores más altos en los meses de febrero y agosto de 2006, y en noviembre de 2005. La mayor temperatura y radiación solar se presentó entre los meses de julio y agosto de 2006. Además, al no presentarse perturbaciones atmosféricas importantes, y al estar la presión íntimamente ligada a ellas, no se percibieron modificaciones significativas en esta variable.
Conclusiones	• En el periodo del contrato se instalo la Estación Bello localizada en la Biblioteca Marco Fidel Suárez, donde se monitorea material particulado en suspensión (PST), SO2 y NO2. • La estación más contaminada de la Red en cuanto a material particulado en suspensión (PST) es la estación UNAL, ubicada en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Los altos valores encontrados en este lugar son de esperarse por la cercanía del medidor al cruce de la carrera 80 con la calle 65. • La estación menos contaminada de la Red con respecto al material particulado en suspensión (PST) es el municipio de Girardota Liceo (GILI).

	• Las concentraciones diarias de material particulado encontradas en el periodo fueron máximos son la UNAL: 203 µg/m^3, SAB: 183 µg/m^3 y el POLI: 181µg/m^3. • En las estaciones no se supera la norma diaria en PST definida en la Resolución 601 de Abril de 2006. • Las concentraciones en PM10 en las estaciones dan periodo analizado dan alrededor de 60 µg/m^3, valores que son inferiores a la norma definida para PM10 en la Resolución 601 de Abril de 2006. Entre 23% y un 30% de las concentraciones diarias se supera la norma anual de 70 µg/m^3. Comparando estos valores con la norma definida en los Estados Unidos (50 µg/m^3) se obtiene alrededor que un 80% de los datos supera dicha norma. • Las mediciones de dióxido de azufre y nitrógeno indican que las concentraciones menores a la normas ambientales definidas en la resolución, por lo que se afirmar que en el Valle de Aburrá no hay problemas serios de contaminación por estos contaminantes. • Las concentraciones de Monóxido de Carbono y Ozono son valores inferiores a la norma ambiental (Resolución 601 de 2005), en el 99% de los datos del periodo. • En las mediciones con la Unidad Móvil de Área Metropolitana ubicada en la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín Núcleo Volador (que opero entre el 08 de febrero y 05 de julio 2006) no se supero las normas horarias, ni octorarias de Monóxido de Carbono en ninguna ocasión. En cuanto al Ozono, se supero la norma horaria en un 2.7% y la octohoraria en un 5.2%. Ninguno de los datos de PM10 supero la norma diaria (Resolución 601 de 2005), mientras que la norma anual fue superada en 0.8% de los datos. Además, comparando con la norma anual de Estados Unidos (50 µg/m3) se supero en un 60.1% de los datos. • En las mediciones con la Unidad Móvil de Área Metropolitana ubicada en la Urbanización Escocia (Calle 29A No. 42 – 99, Municipio de Itagüí) que opero entre el 05 al 24 de julio de 2006) no se supero las normas horarias, ni octorarias de Monóxido de Carbono en ninguna ocasión. En cuanto al Ozono, se supero la norma horaria en un 0.2% y la octohoraria en un 0.1%. Ninguno de los datos de PM10 supero la norma diaria (Resolución 601 de 2005), mientras que la norma anual fue superada en 2.3% de los datos. Además, comparando con la norma anual de Estados Unidos (50 µg/m3) se supero en un 78.9% de los datos. • Aplicando el Índice de Calidad del Aire (AQI) a todos los datos de concentraciones de todos los contaminantes se obtuvo una categoría atmosférica entre buena y aceptable. En términos generales el contaminante responsable de la categoría atmosférica moderada es el PM10. • Se realizó por parte de Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Sanambiente la capacitación al personal sobre el Manejo y Operación de la Estación de Monitoreo Automática para la Calidad del Aire.
Realizado por	Área Metropolitana del Valle de Aburrá – Universidad Nacional de Colombia. Carmen Elena Zapata Sánchez., Msc., Directora Administrativa.

Nombre del proyecto	**Evaluación de la reducción de emisiones contaminantes atmosféricos por las nuevas normas de transito en la ciudad de Medellín. Luis Felipe Cardona Alvarez. UPB, Facultad de Ingeniería Mecánica.1999**
Objetivos	**General** Evaluar la reducción de emisiones de contaminantes atmosféricos por las nuevas normas de transito en la ciudad de Medellín. **Específicos:** En el informe final no se hacía relación a ellos.
Metodología: **Datos de origen.** **Muestreo.** **Tipo de Análisis.**	Para la evaluación de los efectos del plan fronteras y demás normas, se eligieron el ruido y el monóxido de carbono, como los principales agentes indicadores del cambio en la contaminación generada en las fuentes móviles, además de otras sustancias como el ozono y el benceno, éstos elementos están directamente relacionados con la congestión vehicular, algunos de ellos tiene normas de calidad legisladas en Colombia y además han sido evaluados en estudios anteriores. El plan fronteras se divide en tres alternativas: Redistribuir el ingreso de microbuses de las rutas metropolitanas al centro de la ciudad de Medellín (alternativa 1) Redistribuir el ingreso de los microbuses, buses y busetas de las rutas metropolitanas al centro de la ciudad de Medellín (alternativa 2) Asignar otras fronteras al ingreso de las rutas metropolitanas a la ciudad de Medellín (Alternativa 3). Para la fecha en que se desarrollo éste estudio, ya se encontraba implementada la alternativa No. 1 del plan fronteras. Además en su transcurso se dio inicio a la aplicación de algunas medidas restrictivas a otros de los agentes incidentes en la congestión vehicular, llamadas “más dos”, “centros de acopios de taxis” y “zona amarilla” éstas normas son las que interesan en éste estudio. Se tomaron unos días de muestreos con base en datos preexistentes y análisis de flujo vehicular, buscando condiciones comunes, es decir, que se presentasen durante todo el año. El análisis llevó as elegir los días de la semana (lunes a viernes), e inclusive los sábados, luego de verificar que sus condiciones de tráfico en los sitios de medición, fueron similares a las de la semana. Los puntos de nuestros se seleccionaron teniendo en cuenta datos históricos, área de influencia de las nuevas normas y reordenamiento de rutas, puesto que el estudio tiene como objetivo mostrar el impacto ambiental, es decir, la variación en los niveles de los agentes contaminantes, respecto a estudios o muestreos anteriores.

	Cada uno de los puntos fue analizado en su caso particular al momento de inicio del monitoreo, para confirmar la correcta elección. El tiempo de monitoreo para cada uno de los puntos fue de 12 horas, divididos en periodos de 6 horas continuas, siempre y cuando lo permitiera las condiciones climatológicas o alguna otra actividad que alterara la normalidad del tráfico automotor, como son choques, manifestaciones, reparaciones en la vía, festividades, etc. La frecuencia de la toma de muestras se definió según condiciones específicas para cada uno de los contaminantes como son: Método de muestreo, especificaciones técnicas del equipo utilizado, variabilidad de las condiciones en cada punto, normatividad y legislación. Para monóxido de carbono se determinó una frecuencia representada por una toma de datos cada 10 minutos, en periodos de 6 horas, para totalizar 72 datos de concentración en cada punto. Para el caso de benceno y ozono se tomaron dos muestras con tubos detectores. Únicamente se determinó que las dos muestras de un mismo compuesto no deberían extraerse en la misma fecha, buscando la no obtención de datos bajo idénticas condiciones.
Contaminantes y/o efectos estudiados	CO, ozono, Benceno, ruido
Resultados	En la alternativa 1 del plan fronteras se afirmo que su implantación traería consigo una reducción de un 40% en la emisión de gases provenientes de los vehículos en marcha, en las áreas cercanas a las rutas involucradas. El cruce de la av. del ferrocarril con Colombia, es el de mayor disminución de contaminación por **CO** (70.07%) por éste punto de monitoreo anteriormente circulaban algunas rutas de colectivos y microbuses, que con el reordenamiento fueron trasladadas a otras vías. Esto puede ser un de los motivos por los cuales se presenta una disminución de las concentraciones de CO, al igual que en los cruces de la av. oriental, en donde los anteriores recorridos no pasaban exactamente por ellos, pero su cercanía y posterior retiro, pudieron afectar dichas concentraciones, debido a la posible influencia de las corrientes y turbulencias del aire. Además en éstos dos últimos cruces, en donde hay similares condiciones de tránsito, tipo de vehículos, normas restrictivas, etc., se presenta un porcentaje de disminución de CO diferente pero muy cercano de 42.33% en caracas y 44.72% en Ayacucho. Tal diferencia es posible que ocurra por la presencia de dos centros de acopio de taxis en el primer cruce, en los cuales, en ocasiones permanecen los automóviles en ralentí, estado en que se genera mayor contaminación por CO. Los cruces de San Juan con Palacé y La Glorita de la plaza minorista mostraron los menores porcentajes de disminución de CO. Una de las posibles causas es que de acuerdo con la alternativas nº 1 del plan

	fronteras, en algunas rutas, tanto el recorrido anterior como el asignado se mantienen por las mismas vías o por otras más cercanas. Este hecho puede indicar que por otras zonas no hay una notable disminución de flujo vehicular. Además estos cruces no se ven afectados por las demás normas: (Anillo central, más dos, centros de acopio). Entre los aspectos en que posiblemente influye en un nivel mayor de contaminación en el cruce av. Oriental – Ayacucho, se encuentra la menor facilidad de dispersión de contaminantes (el encerramiento producido por edificaciones no la favorece); el mayor número de carriles que componen las vías del cruce (mayor flujo vehicular), y su semaforización no existe en el otro punto. Este último aspecto es debido a la incidencias de la etapa de conducción en que se encuentre el vehículo (aceleración, crucero, desaceleración y neutro), ya que el motor emite mayor contaminación por monóxido en neutro y la menor se da en crucero, que es la que se presenta tanto en avenida ferrocarril, como en Colombia. En el caso del ruido la aceleración del arranque es la que aumenta el nivel sonoro, en comparación de la etapa de crucero, manteniendo como agravante el rudo manejo que se le da a los buses principalmente. De igual forma los de más cruces se ven afectados en mayo o menor medida, por cada uno de los aspectos mencionados anteriormente. Los datos de concentración de **benceno**, son muy inferiores a los niveles permisibles en otros países. Niveles mayores se podrían presentar en horas cercanas al medio día, debido a la mayor evaporación de combustible a superiores temperaturas, con el agravante de que también hay una disminución en el flujo vehicular, comparado con los “picos” que aparecen alrededor de las 8 y las 18 horas. En el cruce de la avenida oriental con Colombia, no se registró presencia de éste contaminante, a pesar de estar cerca de una estación de servicio, lo que podría indicar que las condiciones para éste, se ven más afectadas por el flujo vehicular, siendo este punto, uno de los de menor tránsito. Para el caso de **ozono**, luego de un primer muestreo se encontró una concentración de 0 en los cinco puntos seleccionados. La teoría indica que el ozono se forma luego de reacciones fotoquímicas en la atmósfera y no se encuentra en las emisiones directas de los automotores, así que parecería normal que no aparezcan concentraciones directamente en éstos puntos. El segundo muestreo de ozono reveló la presencia del contaminante en dos nuevos puntos seleccionados. El cambio en la hora, y en las zonas del muestreo confirman la teoría sobre éste elemento además de concordar con el comportamiento presentado en otras ciudades como en la capital de México. En los niveles de ozono encontrados se superó la norma en uno de los puntos y en el otro se observó un valor inferior pero cercano. Además se debe tener en cuenta que las condiciones climatológicas de los meses en que se desarrolló éste estudio, corresponden a un clima

	relativamente frío, y que se presenta como una de las temporadas más largas en los últimos años en ésta zona del país.
Conclusiones	En los puntos de monitoreo, se registró una importante disminución de contaminación ambiental en cuanto al monóxido de carbono, producida tanto por las nuevas normas dictadas por la secretaria de transito y transporte de Medellín ("plan fronteras. Alternativa 1", "Mas Dos", "zonas amarillas" centro de acopio de taxis), como por las leyes ambientales que rigen para los automotores en circulación. En cuanto a la contaminación por ruido, los niveles de las áreas monitoreadas permanecen constantes, o con un leve incremento respecto a estudios anteriores, aunque siempre por encima del límite permisible para la zona, hecho que hace evidente tomar medidas de control para minimizar éste problema. Debido a las nuevas normas y leyes ambientales, dictadas por entes nacionales e internacionales, dedicadas a la protección del medio ambiente, podemos afirmar que la contaminación producida por emisiones de automotores, se verán disminuidas paulatinamente gracias a la implementación de nuevos sistemas de control como convertidores catalíticos y nuevas composiciones de combustibles, entre otros. Para la expedición de futuras leyes o normas relacionadas con la protección del medio ambiente, es útil tener en cuenta los resultados obtenidos con medidas aplicadas en otras ciudades, y el impacto ambiental que ellas generaron, analizando la posibilidad de adoptarlas. A medida que los entres gubernamentales y la ciudadanía en general se concientice aún más de la importancia del cuidado del medio ambiente, se verán resultados como los obtenidos en éste estudio. Personas como vendedores ambulantes o que trabajan en locales comerciales de puertas abiertas de los alrededores de las zonas afectadas para la contaminación, son quienes se pueden ver más afectadas en su salud, a causa de su continua exposición. Los altos niveles de presión sonora, son principalmente causados por el ruido causado por los buses, con el agravante de que el modo de manejo, en ocasiones muy brusco, tiende a empeorar el problema. Respecto al benceno, se encontraron niveles por debajo de las normas establecidas en otros países y en cuanto al ozono se observó presencia en dos de los puntos monitoreados. Con los datos obtenidos, se fija un punto de partida para futuros estudios sobre éstos importantes contaminantes. La legislación Colombiana posee un vacío legal, respecto a los niveles de calidad de aire del benceno, el cual es uno de los contaminantes gaseosos considerado como cancerígeno. La ciudadanía es consciente de la importancia del cuidado del medio

	ambiente y de la forma como éste afecta sus actividades. Ello se manifestó durante el trabajo de campo realizado en cada uno de los monitoreos.

Nombre del proyecto	**Factibilidad de la aplicación del índice PSI (Pollutant Standard Index), para evaluar la calidad del aire en el Valle de Aburrá. Claudia María Montoya Palacio. UPB. Especialización en Ingeniería Ambiental.2000.**
Objetivos	**General** Determinar la viabilidad de la aplicación metodológica del índice de calidad del aire PSI, para la evaluación de la calidad del aire en el Valle de Aburrá. **Específicos** ➢ Estudiar las diferentes metodologías aplicadas en la actualidad mundial, para el establecimiento de la calidad del aire en una región específica. ➢ Establecer si el índice de calidad ambiental denominado PSI, constituye la forma más avanzada y precisa para la determinación dela calidad ambiental de aire. ➢ Determinar si el PSI es posible ser aplicado, con resultados aceptables en el Valle de Aburrá.
Metodología: **Datos de origen.** **Muestreo.** **Tipo de Análisis.**	Se trata de una investigación de nivel exploratorio donde se hace un barrido bibliográfico y documental con la dirección precisa a saber determinar los alcances prácticos del modelo PSI, describiendo las características fundamentales de su aplicación, para finalmente ya conocido el modelo establecer si resulta o no viable su aplicación con fines similares en el contexto espacial que nos ocupa. El estudio pude definirse como cote o dimensión transversal, ya que la exploración o búsqueda de los componentes de análisis, no están referidos a un periodo de tiempo específico, con momento de partida y momento de llegada delimitadas. Se abordará el tema pretendiendo revisar, analizar y cuestionar todo el acumulado practico obtenido en los Estados Unidos de América, en los ya largos años de implementación y aplicación del PSI. La unidad de análisis es el Valle de Aburrá departamento de Antioquia
Contaminantes y/o efectos estudiados	Contaminantes contemplados en el PSI.
Resultados	El estudio no contempló un ítem específico de resultados.

Conclusiones	Según las autoridades ambientales los efectos de la contaminación atmosférica en la salud, no pueden se considerados como aislados, sin tener en cuenta otros factores como los fenómenos climáticos la condición social de la población e incluso el sistema inmunológico de cada persona. Sin embargo es claro que por las altas concentraciones de los contaminantes atmosféricos, la falta de medios de control y la ausencia de políticas de educación ciudadana, tales contaminantes representan actualmente enormes riesgos para la vida de cualquier persona, especialmente para la salud de la población infantil y los ancianos, por su extrema sensibilidad a los mismos. Aunque sea establecido que estos factores aisladamente no constituyen una causa suficiente de enfermedad, si son determinantes en la incidencia de patologías no infecciosas, incluyendo enfermedades crónicas, afecciones de la piel, que en gran medida son responsables del deterioro de la buena salud de los colombianos. Con el propósito de garantizar la optima calidad del aire, necesaria para la protección de la vida humana y en general para la conservación del ambiente, el estado debe adelantar una clara y precisa política de regulación normativa que contemple entre otros aspectos los siguientes: ➢ Establecer unos estándares ambientales mínimos. ➢ Implementar unas metas para reducción de las emanaciones tóxicas. ➢ Diseñar y ejecutar programas de promoción y estímulos tributarios para las empresas que trabajen adoptando las denominadas tecnologías limpias como una manera de generar conciencia ambiental. ➢ Reglamentar programas completos de formación técnica a la industria, para que ajusten sus prácticas productivas en función de los estándares de la calidad del aire previamente adoptados. ➢ Legislar sobre los beneficios tributarios y/o fiscales para quienes vinculen en sus prácticas productivas procedimientos, métodos y/o equipos, que contribuyan a la reducción de la generación de agentes tóxicos aéreos. La definición de un índice para el Valle de Aburrá pude basarse en el PSI, ya que éste presenta una estructura flexible la cual posibilita medir los principales contaminantes del aire e incluir futuros contaminantes sin que por ello se afecte o modifique su estructura. Otra ventaja que presenta el PSI es que permite identificar las variaciones sensibles día a día. El PSI posee todas las características de un índice, éste incluye: ➢ Las principales variables contaminantes identificadas. ➢ Incorpora funciones lineales segmentadas para los subíndices. ➢ Calcula el índice utilizando el modo máximo. ➢ Emplea las NAAQS y episodios críticos como puntos de quiebre. ➢ Incluye cuatro categorías de descriptores. Existen algunos aspectos débiles que afectan la posibilidad de utilizar éste método de medición en el Valle de Aburrá: ➢ La inexistencia de serios estudios epidemiológicos que sustentan la implementación del PSI. ➢ La carencia de equipos y tecnología apropiada para establecer los

	niveles de contaminación de los distintos agentes que sirven para implementar un modelo analítico según el PSI. ➢ La carencia de una red de monitoreo ambiental que permite tener un continuo registro del comportamiento de los agentes que deterioran la calidad del aire. ➢ La precaria situación económica de las autoridades encargadas del control ambiental y del a salud de la población. Superadas estas deficiencias estructurales se estima que es posible, metodológica y científicamente implementar el PSI en la realidad Colombiana y en concreto en el Valle de Aburrá.

Nombre del proyecto	**Propuesta de modelo matemático para estimar la emisión de material particulado en fuentes fijas del municipio de Itagüí. Gloria Stella Ramírez Casas. UPB. Esc. Ingeniería Msc. En ingeniería con énfasis en Ambiental. 2004.**
Objetivos	**General** Identificar una ecuación matemática que permita estimar la emisión de material particulado en fuentes fijas de combustión del municipio de Itagüí, con base en análisis de datos históricos obtenidos a través de mediciones de campo. **Específicos** ➢ Identificar el inventario de empresas en el municipio de Itagüí que poseen equipos de combustión cuyas emisiones han sido evaluadas a través de muestreos isocinéticos. ➢ Determinar la emisión de material particulado en fuentes fijas del municipio de Itagüí, especialmente en aquellas que utilizan combustibles líquidos (fuel oil, crudo de castilla ACPM y keroseno) y combustible sólido (carbón). ➢ Realizar análisis de emisiones de material particulado de acuerdo al proceso productivo, consumo energético, tipo de equipo de combustión y con ausencia de un sistema de control de emisiones. ➢ Establecer el comportamiento en el tiempo de la emisión del material particulado, de acuerdo con las características de la actividad productiva.
Metodología: **Datos de origen.**	Con el fin de determinar un modelo matemático que permite estimar la emisión de material particulado en los equipos que consumen carbón, ACPM y crudos pesados en calderas del municipio de Itagüí, se realizó inventario de emisiones de material particulado en el municipio, desde 1990 hasta mediados de 2002, para posterior evaluación estadística, teniendo en cuenta variables como flujo de calor, tipo de equipo, tipo de combustible, para equipos que no cuentan con sistema de control de material particulado. Para la definición de la población objetivo, se decidió trabajar con las empresas del sector textil y de alimentos, que poseen calderas manuales industriales y comerciales, no disponen de un equipo de control y emiten principalmente material particulado, ya que los dos sectores productivos, los combustibles y

Muestreo. **Tipo de Análisis.**	equipos son los más representativos del municipio y se contaba con una buen número de registros (117). Se contó con el programa en lenguaje fortran SPSS versión para windows, el cual consiste en un paquete estadístico de análisis de datos por computador. Con el objetivo de determinar una ecuación matemática que permitiera estimar la emisión de material particulado para la población seleccionada, se trabajó con el Modelo Lineal General Univariante; el cual, es un procedimiento que permite determinar la relación entre una variable dependiente (emisión de material particulado) con otras variables o factores independientes (tipo y cantidad de combustible, tipo de equipo), con el fin de predecir el comportamiento de la variable dependiente ante cambios en las variables independientes. Teniendo en cuenta que las calderas manuales que utilizan carbón como combustible, son las más usadas en el municipio de Itagüí, y además fueron las que más se ajustaron a la ecuación hallada, se decidió realizar un análisis de regresión entre la emisión de material particulado y el consumo de combustible, para calderas industriales y comerciales, clasificándolas además de acuerdo al flujo de calor.
Contaminantes y/o efectos estudiados	Material particulado generado por combustibles líquidos (fuel oil, crudo de castilla ACPM y keroseno) y combustible sólido (carbón).
Resultados	El 60% de las empresas del municipio de Itagüí cuentan con equipos de combustibión siendo el 76% calderas. El combustible más utilizado en el municipio es el carbón con un porcentaje de uso del 47%, seguido de los crudos pesados y del ACPM. El sector textil es el más representativo del municipio, con una participación del 33%. De la base de datos que define éste estudio se encontró que de las industrias del municipio de Itagüí el 60% de los procesos contaminantes se debe a la producción de vapor o de energía mediante el uso de calderas y hornos el 72% de éstos equipos no posee un equipo de control de emisiones de material particulado y el 15% de los equipos de control existentes son multiciclones, el combustible más utilizado es el carbón. Se presentan diferencias en los promedios de material particulado, según el proceso productivo, ya que en las calderas industriales el promedio es mayor que en las calderas comerciales, con desviaciones bajas. En cuanto al tipo de combustible, el promedio para la emisión de material particulado es mayor cuando el combustible es el crudo, seguido del carbón y por último el ACPM. La emisión de material particulado no depende significativamente del tipo de proceso productivo (alimentos, textil).
	Se definió una ecuación que relaciona la emisión de material particulado con el tipo y consumo de combustible. El modelo fue validado estadísticamente. No obstante se presentan diferencias bastante significativas a la hora de comparar los resultados de campo con el dato estimado a partir de la ecuación, debido posiblemente a errores en éstos, por lo que se recomienda hacer auditoria

Conclusiones	completa a los muestreos isocinéticos para mejorar la confiabilidad de los datos. A pesar de que el modelo matemático encontrado, contó con las validaciones estadísticas, lo que significa que las variables consideradas a portan en la emisión de material particulado, es necesario diseñar un trabajo de campo que permita contar con una base de datos completa y de muy buena calidad donde se tenga en cuenta las variables analizadas como tipo de combustible y cantidad consumida y se introduzca otras que no fueron evaluadas en éste estudio como son la carga a la que trabaja el equipo y la eficiencia de combustión

bibliografía

5. Revisión bibliográfica sobre calidad del aire y efectos en la salud.

5.1 Revistas

- Abelsohn A, Stieb D, Sanborn M, Weir E. Identifying and managing adverse environmental health effects: 2 Outdoor air pollution. CMAJ 2002; 166(9).

- Air & Waste Management Association. Annual Conference & Exhibition; 2006 Healthy Environments: Rebirth & Renewal. New Orleans Convention Center, New Orleans, Louisiana.

- Arrubla G. Las peligrosas desviaciones de los informes ambientales de calidad del aire en el Valle de Aburrá. El reto 2005; 55: 20-34.

- Arrubla G. los datos reportados sobre calidad del aire en el Valle de Aburrá no son manipulados. El reto 2005; 56: 17-20.

- Asmi A, Pirjola L, Kulmala M. A sectional aerosol model for submicron particles indoor air. Scand J Work Environ Health 2004; 30(2):63-72.

- Avol E, Gauderman W J, Tan S, London J, Peters J. Respiratory effects of relocating to areas of differing air pollution levels. Am. J Respir. Crit Care Med. 2001; 164 (11): 2067-2072.

- Ballester F, Tenías J, Pérez S. Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud: una introducción. Rev. Esp Salud Pública 1999; 73(2):109-121.

- Balmes J. Occupational contribution to the burden of chronic obstructive pulmonary disease. Joem 2005; 47(2):154-160.

- Batesont T, Schwartz J. Who is sensitive to the effects of particulate air pollution on mortality? A case – crossover analysis of effect modifiers. Epidemiology 2004; 15(2):143-149.

- Behrentz E. Contaminación atmosférica en Bogota: relación entre salud pública y calidad del combustible vehicular y propuesta de acciones pertinentes. Andesco; 14-16.

- Behrentz E, Sabin L, Winer A, Fitz D, Pankratz,D, Colome S, Fruin S. Relative Importance of School Bus-Related Microenvironments to Children's Pollutant Exposure. J. Air: Waste Manag Assoc 2005; 55(10): 1418-1430.

- Bell M, Famet J, Dominici F. Time – series studies of particulate matter. Annu. Rev. Public Health 2004; 25:247-280.
- Bell M, Dominici F, Samet J. A meta-analysis of time – series studies of ozone and mortality with comparison to the national morbidity, mortality, and air pollution study. Epidemiology 2005; 16(4):436-445.

- Boffetta P. Human cancer from environmental pollutants: The epidemiological evidence. ELSEVIER 2006.

- Brunekreef B, Holgate S. Air pollution and health. Lancet 2002; 360:1233-1242.

- Calderon-Garciduenas L, Mora-Tiscareno A, Chung CJ, Valencia G, Fordham LA, Garcia R, Osnaya N, Romero L, Acuna H, Villarreal-Calderon A, Devlin RB, Koren HS. Exposure to air pollution is associated with lung hyperinflation in healthy children and adolescents in Southwest Mexico City: a pilot study. Inhal. Toxicol. 2000; 12(6): 537-561.

- Calderon-Garciduenas L, Mora-Tiscareno A, Fordham LA, Valencia-Salazar G, Chung CJ, Rodriguez-Alcaraz A, Paredes R, Variakojis D, Villarreal-Calderon A, Flores-Camacho L, Antunez-Solis A, Henriquez-Roldan C, Hazucha MJ. Respiratory damage in children exposed to urban pollution. Pediatr. Pulmonol. 2003; *36* (2): 148-161.

- Calderon-Garciduenas, L.; Osnaya, N.; Rodriguez-Alcaraz, A.; Villarreal-Calderon, A. DNA damage in nasal respiratory epithelium from children exposed to urban pollution. Environ. Mol. Mutagen. 1997; 30 (1): 11-20.

- Cerda A, Arias E. Revista Interamericana de Ambiente y Turismo. 2005; 1(1).

- Cherrie J. How important is personal exposure assessment in the epidemiology of air pollutants? Occupational and Environmental Medicine 2002; 59(10):653-654.

- Chow J. introduction to the A&WMA 2006 critical review. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. Journal of the air & managemement association 2006; 56: 707-708.

- Chow J, Costa D, Wyzga R, et al. Health effercts of fine particulate air pollution: Lines that connect. Air & Waste Management Association 2006; 56:1368-1380.

- Cohen A, Pope C. Lung Cancer and Air Pollution. Environ Health Perspect 1995; 103 suppl 8: 219-224.

- Contraloría General de Medellín. “La contaminación atmosférica esta afectando la salud de la población” El reto 2005; 57: 19-21.

- Cowen K, Ollison W.Continuous monitoring of particle emissions during showering. Journal of the Air & Waste Management Association 2006;56 (11):1662-1668.

- Dales R. Ambient Carbon Monoxide May Influence Heart Rate Variability in Subjects With Coronary Artery Disease. JOEM 2004; 46(12): 1217-1221.

- Dabis, F., Drucker, J., Moren, A. (1992). “Surveillance épidémiologique, en Épidemiologie d’intervention”. Arnette, Paris.

- De Kadt, E. “Making Health Policy Management Intersectoral: Issues of information Analysis and Use in Less Developed Countries”. Society Science Medicine1989; 29 (4):503-514.

- D´Ippoliti D, Forastiere F, Ancona C, Agabiti N, Fusco D et al. Air pollution and miocarial infaction in Rome: a case – crossover analysis. Epidemiology 2003; 14(5):528-535.

- Desqueyroux H, Pujet J, Prosper M, Le Moulellec Y, Momas I. Effects of air pollution on adults with chronic obstructive pulmonary disease. Archives of Environmental Health 2002; 57(6):554-560.

- Dockery D, Pope CA, Xu X, Spengler J. et al. An association between Air pollution and Mortality in six U.S cities. 1993; 329(24):1753-1759.

- Donaldson K, Stone V, et al. Ambient particle inhalation and the cardiovascular system: potential mechanisms. Environmental Health Perspectives 2001; 109(4):523-527.

- Edelman N. Air Quality Standars Must Protect Public Health. Em the Magazine for Environmental Managers 2006; 24-29.

- Filleul L, Rondeau V, Cantagrel A, Dartigues J, Tessier J. Do subject characteristics modify the effects of particulate air pollution on daily mortality among the elderly? Joem 2004; 46(11): 1115-1121.

- Fusco D, Forastiere F, Michelozzi P, et al. Air pollution and hospital admissions for respiratory conditions in Rome, Italy. Eur Respir J 2001; 17: 1143-1150.

- Gauderman W, Avol E, Lurmann F, Kuenzli N, et al. Childhood asthma and exposuere to traffic and nitrogen dioxide. Epidemiology 2005; 16(6):737-743.

- Gauderman W, Gilliland G, Vora H, Avol E, Stram D, McConnell R, Thomas D, Lurmann F, Margolis H, Rappaport B, Berhane K., Peters J. Association between air pollution and lung function growth in southern California children: results from a second cohort. Am. J Respir. Crit Care Med. 2002; 166 (1): 76-84.

- Gauderman W, Vora H, McConnell R, Berhane K, Gilliland F, Thomas D, Lurmann F, Avol E, Kunzli N, Jerrett M, Peters J. Effect of exposure to traffic on lung development from 10 to 18 years of age: a cohort study. Lancet. 2007; 369 (9561): 571-577.

- Guerra S, Lane D, Martos G, et al. Effects of wind direction on coarse and fine particulate matter concentrations in Southeast Kansas. Air & Waste Management Association 2006; 56:1525-1531.

- Gonçalves F, Carvalho L, et al. The effects o fair pollution and meteorological parameters on respiratory morbito during the summer in São Paulo City. Environment International 2005; 31:343-349.

- Guerra S, Dennos D, et al. Effects of wind direction on coarse and fine particulate matter concentrations in southeasr Kansas. Journal of the Air & Waste Managenent Association 2006; 56(11):1525-1531.

- Han X, Naeher LP. A review of traffic-related air pollution exposure assessment studies in the developing world. Environ INt 2007; 32(1): 106-120

- Harrison R, Thornton C, Lawrence R, Mark O, Kinnersley R, et al. Personal exposure monitoring of particulate matter, nitrogen dioxide, and carbon monoxide, including susceptible groups. Occupational and Environmental Medicine 2000; 151(5):671-679.

- Health Effects Institute. Health effects of outdoor air pollution in developing countries of Asia: A literature review. Special report 15 april 2004.

- Holguín F, Téllez M Hernández M, Cortez M, Chow J, et al. Air pollution and Heart rate variability among the elderly in Mexico City. Epidemiology 2003; 14(5):521-535.

- Hosiokangas J, Vallius M, Ruuskanen J, Mirme A, Pekkanen J. Resuspended dust episodes as an urban air-quality problem in surbartic regions. Scand J Work Environ Health 2004; 30(2):28-35.

- Holopaínen M, Hirvonen M, Komulainen H, Klockars M. Effect of the shape of mica particles on the production of tomor necrosis factor alpha in Mouse macrophagues. Scand J Work Environ Health 2004; 30(2): 91-98.

- Hussein T, Hämeri K, Aalto P, Asmi A, Kakko L. Particle size characterization and the indoor- to outdoor relationship of atmospheric aerosols in Helsinki. Scand J Work Environ Health 2004; 30(2):54-62.

- Ito K, De Leon S, Lippmann M. Associations between ozone and daily mortality análisis and meta-analisis. Epidemiology 2005; 16(4):446-457.

- Janes H, Sheppard L, Lumley T. Case-crossover analyses of air pollution exposure data:referent selection strategies and their implications for bias. Epidemiology 2005; 16(6):717 -726.

- Jerrett M, Burnett R, Ma R, Pope C, et al. Spatial analysis o fair pollution and mortality in Los Angeles. Epidemiology 2005; 16(6):727-736.

- Juvin P, Fournier T, Boland S, Soler P, Marano F, Desmonts J, Aubier M. Diesel particles are taken up by alveolar type II tumor cell and alter citokines secretion. Archives of Environmental Health 2002; 57(1):53-60.

- Kim J. Ambient air pollution: health hazards to children. Pediatrics 2004; 114(6): 1699-1707.

- Kim J, Smorodinsky S, Lipsett M, Singer B, Hodgson A, Ostro B. Traffic-related air pollution near busy roads: the East Bay Children's Respiratory Health Study. Am J Respir. Crit. Care Med 2004; 170(5): 520-526.

- Klauke et al. “Guidelines for Evaluating Surveillance Systems”. MMWR1988;37(S-5)

- Karppinen A, Härkönen J, Aarino P, Koskentalo T. Statical model for assessing the portion of fine particulate matter transported regionaly and long range to urban air. Scand J Work Environ Health 2004; 30(2):47-53.

- Koistinen K, Edwards R, Mathys P, Ruuskanen J, Künzli N, et al. Sources of fine particulate matter in personal exposures an residencial indoor, residencial outdoor and workplace microenvironments in the Helsinki phase of the expolis study. Scand J Work Environ Health 2004; 30(2):36-46.

- Kollárová H, Janout ,Čížek L. Epidemiology of Lung Cancer. Biomed papers 2002; 146(2):103-114.

- Krzyzanowski M (1997). “Methods for assessing the extent of exposure and effects of air pollution”. Occup Environ Med. 97 54:145–151.

- Künzli N, Tager I. Air pollution: From lung to heart. Swiss Med WKLY 2005; 135:697-702.

- Künzli N., Kaiser R., Medina S., Studnicka M., Oberfeld G., Horak F. (1999). "Health Costs Due to Road-Traffic Related Air Pollution: An Impact Assessment Project of Austria, France and Zwitzerland: Air Pollution Attributable Cases - Technical Report on Epidemiology". World Health Organization, Regional Office For Europe, May 1999.

- Langmuir, A. "William Farr: Founder of Modern Concepts of Surveillance". Internacional Journal of Epidemiology 1976;5:(1) 13-18.
- Last JM. (2001). "A dictionary of epidemiology". Oxford University Press. New York.
- Levy J, Chemerinski S, Sarnat J. Ozone exposure and mortality and empiric bayes meta regresión análisis. Epidemiology 2005; 16(4):458-468.
- Liard R, Zureik M, Moullec Y, Soussan D, Glorian M, Grimfeld A. Use of personal passive samplers for measurements of NO2, NO, and O3 levels in panel studies. Environ Res 1999; 81: 339-348.

- Lozano N. Air pollution in Bogota, Colombia: A Concentration – response approach. Desarrollo y sociedad 2004; 54:133-160.

- Lundberg A, Maryland C. Psychiatric aspects of air pollution. Otolaryngol Head Neck Surg 1996; 114:227-231.

- Mallol J, Sole D, Asher I, Clayton T, Stein R, Soto-Quiroz M, Prevalence of asthma symptoms in Latin America: the International Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISAAC). Pediatr. Pulmonol. 2000; 30 (6): 439-444.

- Maggiora C, López J. Vulnerability to Air Pollution in Latin America and the Caribbean Region. Sustainable Development Working Paper 28; 2006.

- Mesa L, Bouzas M. Prevalecía de síntomas respiratorios en trabajadores expuestos a material particulado. Colombia Médica 1997; 28 (2): 62-66.

- Minton L. Are EPA's Proposed Revisions to the Pm standards appropriate? Em the Magazine for Environmental Managers 2006; 15-18.

- Nafstad P, Haheim L, et al. Urban Air pollution and Mortality in a Cohort of Norwegian Men. Environmental Health Perspectives 2004; 5(112):610-115.

- Neuberger M, Schimek M, et al. Acute effects of particulate matter on respiratory diseases, symptoms and functions: epidemiological results of the Austrian Project on Health Effects of Particulate Matter (AUPHEP).Atmospheric Environment 2004; 38:3971-3981.

- Nemmar A, Vanquickenborne, Dinsdale D, et al. Pasaje of inhaled into the blood circulation in humans. Circulation 2002; 105(4).

- Oberdörster G. Pulmonary effects of inhaled ultrafine particles. Int Arch Occup Environ Health 2001; 74:1-8.

- Oglesby L, Künzli N, Monn C, Schindler C, Ackermann-Liebrich U, Leuenberger P. Validity of Annoyance Scores for Estimation of Long Term Air Pollution Exposure in Epidemiologic Studies: The Swiss Study on Air Pollution and Lung Diseases in Adults (SAPALDIA). Am. J Epidemiol 2000; 152(1): 75-83.

- Oglesby L, Rotko T, Krutli P, Boudet C, Kruize H, Nen MJ, Kunzli N. Personal exposure assessment studies may suffer from exposure-relevant selection bias. J Expo. Anal. Envirom Epidemiol. 2000; 10(3): 251-266.

- Orduz C, Cardona L, Uribe J, Villegas F. Comparación de los parámetros espirométricos para diagnosticar enfermedad pulmonar ocupacional, empresa Textil de Rionegro Antioquia, 1999. Tesis Especialización en Salud Ocupacional. FNSP 1999.

- Orduz C. Memorias II. Congreso de Asociación Latinoamericana del torax, Cartagena. Revista Colombiana de Neumología 2000; 12.

- Orduz C. Memorias del Sexto Congreso Nacional de Salud Ocupacional y Riesgos Profesionales, Medellín Noviembre de 2000.

- Orduz C. Neumoconiosis, Bogotá: Instituto de Seguros Sociales, 1998.

- Ostro B. Fine Particulate Air Pollution and Mortality in two Southern California Counties. Environmental Research 1995; 70:98-104.

- Osunsaya T, Prescott G, Seaton A. Acute respiratory effects of particles: mass or number? Occupational and Environmental Medicine 2001; 58(3): 154-159.

- Palmer Filliger, P, Puybonnieux-Texier, V., Schneider, J. (1999). “Health Costs Due to Road-Traffic Related Air Pollution: An Impact Assessment Project of Austria, France and Zwitzerland: PM_{10} Population Exposure - Technical Report on Air Pollution”. World Health Organization, Regional Office For Europe, June 1999.

- Paul J, Terril E. Setting a Prospective PM Standard a View from the Frontline. Em the Magazine for Environmental Managers 2006;19-23.

- Page S. Epa's proposal to revise the PM Standard. Em the Magazine for Environmental Managers 2006; 11-14

- Peters J, Avol E, Navidi W, London S, Gauderman W, Lurmann F, Linn W, Margolis H, Rappaport E, Gong H, Thomas D. A study of twelve Southern California communities with differing levels and types of air pollution. I. Prevalence of respiratory morbidity. Am J Respir. Crit Care Med 1999; 159 (3): 760-767.

- Pekkanen J, Kulmala M. Exposure assessment of ultrafine particles in epidemiologic time-series studies. Scand J Work Environ Health 2004; 30(2):9-18.

- Penttinen P, tittanen P, Pekkanen J. Mortality and air pollution in metropolitan Helsinki, 1988-1996. Scan J Work Environ Health 2004;30(2):19-27

- Peters A, Doring A, et al. Increased plasma viscosity during an air pollution episode: a link to mortality? Lancet 1997; 349: 1582-1587.

- Polosa R, Salvi S, Di Maria G. Allergic susceptibility associated with diesel exhaust particle exposure: clear as mud. Archives of Environmental Health 2002; 57(3): 188-193.

- Pope CA., A summary of the 2006 Critical Review, Health Effects of Fine Particulate Air Pollution; Lines that connect. Journal of the air & waste Management Association 2006; 56: 709-741.

- Pope 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.

- Pope CA, Dockery D, et al. Oxigen saturation, pulse rate, and particulate air pollution: A daily Time – series panel study. Am j Respir Crit Care Med 1999; 159:365-372.

- Premaratna R, Pathmeswaran A, Chandrasekara B, Dissanayake A, et al. Effects of pollution on healt of residents in an industrial area in Sri Lanka. Archives of Environmental Health 2002; 57(6):579-583. Archives of Environmental Health 2002; 57(6); 554-560.

- Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá. Boletín 16, junio de 2005.

- Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá. Boletín 17, junio de 2005.

- Romero M**,** Más P, Lacasaña M, Téllez M, Aguilar J. Contaminación atmosférica asma bronquial e infecciones respiratorias agudas en menores de edad, de la Habana. Salud Pública de México 2004; 46(3): 222-233.

- Romieu I, Borja V. Particulate air pollution and daily mortality: can results be generalized to Latin American Countries? Salud Pública de México 1997; 39(5) 403-411.

- Romieu I, Ramírez M, Moreno H, Barraza A, Millar P. et al. Infant mortality and air pollution: modifying effect by social class. Joem 2004; 46(12):1210-1216.

- Rosales J, Torres V, et al. Los efectos agudos de la contaminación del aire en la salud de la población: evidencias de estudios epidemiológicos. Salud Pública de México 2001; 43(6):544-554.

- Ruuskanen J. Consortium on urban air particles an environmental health. Scand J Work Environ Health 2004; 30(2):7-8.

- Saez M, Perez S, Tobias A, et al. Metodos de series temporales en los estudios epidemiológicos sobre contaminación atmosférica. Rev. Esp. De Salud Publica 1999; 73:133-143.

- Saldarriaga J, Echeverri C, Molina F. Partículas suspendidas (PST) y partículas respirables (PM_{10}) en el Valle de Aburrá, Colombia. Revista Facultad de Ingenieria 2004; 32: 7-16.

- Salonen R, Hälinen A, Pennanen A, Hirvonen M, Sillanpää M, et al. Chemical and invitro toxicologic Characterization of wintertime and springtime urban air particles with an aerodynamic diameter below 10µ in Helsinki. Scand J Work Environ Health 2004; 30(2):80-90.

- Samet J. Environmental Causes of Lung Cancer: What Do We Know in 2003? CHEST 2004; 125:80S-83S.

- Sánchez C, Cerón P, Rojas M, Mendoza L, Olaiz G, Borja V. Surveillance of acute health effects of air pollution in Mexico City. Epidemiology 2003; 14(5): 536-544.

- Sandiford, P., Annett, H., Cibulskis, R. “What Can Information Systems do for Primary Health Care? An International Perspective”. Society Science Medicine1992; 34(10):1077-1087

- Seaton A, Macnes W, et al. Particulate air pollution and acute health effects. The Lancet 1995; 345:176-178.

- Secretaría de salud de Medellín. Salud Pública de Medellín 2006; 1(1).

- Schayck C,I, Loozen J, Wagena E. detecting patients at a high risk of developing chronic obstructive pulmonary disease in general practice: cross sectional case finding study. BMJ 2002;324 (7350):1370.

- Schwartz J. Haversting and long term exposure effects in the relation between air pollution and mortality. American Journal of Epidemiology 2000; 151(5):440-451.

- Shima M, Nitta Y, Ando M, Adachi M. Effects of air pollution on the prevalence and incidence of asthma in children. Archives of Environmental Health 2002; 57(6): 529-535.

- Soliman A, Jacko R, Palmer G. Development of an empirical model to estimate real-world fine particulate matter emisión factors: the trafic air quality model. Journal of the air & waste Management Association 2006; 56 (11):1540-1549.

- Sullivan J, Sheppard L, Schreuder A, Ishikawa N Siscovick D, Kaufman J. Relation between short-term fine-particulate matter exposure and onset of myocardial infarction. Epidemiology 2005; 16(1): 41-57.

- Sunyer J, Schwartz J, Tobías A. et al Patients with chronic obstructive pulmonary disease is at in creased risk of death associated with urban particle air pollution: a case – crossover Analysis. American Journal of Epidemiology 2000;151(1):50-56.

- Tager I, Balmes J, Lurmann F, Ngo L, Alcorn S, Künzli N. Chronic exposure to ambient ozone and lung function in young adults. Epidemiology 2005; 16(6):751-759.

- Thacker, S.B., Choi, K., Brachman, P.S.). The Surveillance of Infectious Diseases”. JAMA 1983; 249(9).

- Tang U, Wang Z. Determining gaseous emision factors and driver`s particle exposures during traffic congestion vehicle-following measurement techniques. Air Waste Management Association 2006; 56:1532-1539.

- Tenías J, Ballester F, Hoyos S, Rivera M. Air pollution and hospital emergency room admissions for chronic obstructive pulmonary disease in Valencia, Spain. Archives of Environmental Health 2002; 57(1):41-47.

- Tertre A, Quénel P, Eilstein D, Medina S, Prouvost H; et al. Short-term effect of air pollution on mortality in nine French cities: a quantitative summary. Archives of Environmental Health 2002; 57(4):311-319.

- Tobin M. Chronic Obstructive Pulmonary Disease, Pullution, Pulmonary Vascular Disease, Transplantation, Pleural Disease, and Lung Cancer in AJRCCM 2003. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine 2004; 169:302-313.

- Tobón D, Sánchez G, Cardenas M. Regulación ambiental sobre la contaminación vehicular en Colombia: ¿hacia donde vamos? Borradores del CIE (Centro Investigaciones Económicas Universidad de Antioquia) 2006; 17: 1-21.

- Townsend C, Maynard R. Effects on health of prolonged exposure to low concentrations of carbon monoxide. Occupational and Environmental Medicine 2002; 59(10):708-711.

- Van C, Loozen J, Wagena E et al. Detecting Patients at high risk of developing chronic obstructive pulmonary disease in general practice: Cross sectional case finding study. BMJ 2002; 324(7350): 1370.

- Villarreal-Calderon A, Acuna H, Villarreal-Calderon J, Garduno M, Henriquez-Roldan C, Calderon-Garciduenas L., Valencia-Salazar G. Assessment of physical education time and after-school outdoor time in elementary and middle school students in south Mexico City: the dilemma between physical fitness and the adverse health effects of outdoor pollutant exposure. *Arch Environ. Health* 2002; *57* (5): 450-460.

- Voutilainen A, Kaipio J, Pekkanen J, Timonen K, Ruuskanen J. Theoretical análisis of the influence of aerosol size distribution and physical activity on particle deposition pattern in human lungs. Scand J Work Environ Health 2004; 30(2):73-79.

- Yu I, Wai T, Jie H. Impact of air pollution on cardiopulmonary fitness in school children. Joem 2004; 46 (9): 946-952.

- Ward D, Ayres J. Particulate air pollution and panel studies in children: a systematic review. Occup. Environ. Med 2004; 61 (4): e13.

- Wilson J, Kingham S, Pearce J, et al. A review of intraurban variations in particulate air pollution: Implications for epidemiological research. Atmospheric Environment 2005; 39: 6444-6462.

- World Health Organisation (2001). "Quantification of the health effects of exposure to air pollution. A report of a World Health Organisation working group". Copenhagen, Denmark, World Health Organisation Regional Office for Europe, 2001.

- World Health Organisation (2000). "Air quality guidelines for Europe". Copenhagen, Denmark, World Health Organisation Regional Office for Europe, 2000.

5.2 Sitios en Internet.

- Aire limpio salud primavera 2002. Las particularidades de la calidad del aire [Sitio en Internet]. Disponible en: http://www.healthandclear air.org/new letters/ spring2002.Spanish pd. Consultado 8 de Octubre de 2005.

- Amal Jubram. Pulse oximetry. Intensive Care Med 2004; 30: 2017-2020. [sitio en Internet] Disponible en: http://www.medicinaintensiva.com.ar/pagina33.htm. Consultado: 08 de febrero de 2006.

- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). Óxidos de Nitrógeno (monóxido de nitrógeno, dióxido de nitrógeno, etc.). [Sitio en Internet].http://www.atsdr.cdc.gov/es/. Consultado 6 de Febrero de 2006.

- Buckley R, Aks S, Eshom J, et al. the pulse oximetry gap in carbon monoxide intoxication. [sitio en Internet] Disponible en:http://www.ncbi.nlm.nih.gov /entrez/query.fcgi?cmd=retrieve&db=pubmed&list_uids=80...Consultado: 08 de febrero de 2006.

- Caracol noticias. En Colombia mueren mas personas por contaminación ambiental que en accidentes de transito. [sitio en Internet] Disponible en: http://www.caracol.com.co/noticias/245021.asp. Consultado 02 febrero 2006.

- CEPIS/OPS. "Curso de auto instrucción "Evaluación del Riesgo Asociado a Contaminantes del Aire". [sitio en Internet] Disponible en: File//A:CEPIS-OPS, Curso de autoinstrucción "Evaluación del riesgo asociado… Consultado 12 de Octubre de 2006

- Continuarán peligrosas emisiones por diesel en grandes ciudades. [sitio en Internet] Disponible en: http:/www.saludcolombia.com/actual/salud76/noticia 76.htm. Consultado 23 de noviembre de 2006.

- Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. Poblaciones y Estadísticas Vitales. [Sitio en Internet] Disponible en:http//www.dane.gov.co/ -48k. Consultado. Desde enero de 2006, consulta permanente.

- Dirección Seccional de Salud de Antioquia. Indicadores básicos de Antioquia. [Sitio en Internet] Disponible en: http//www.dssa.gov.co/htm/index.htm. Consultado. 22 de febrero de 2006.

- Dirección Seccional de Salud de Antioquia. Población de Antioquia [Sitio en Internet] Disponible en: http//www.dssa.gov.co/htm/index.htm. Consultado. 22 de febrero de 2006. Consultado. 22 de febrero de 2006.

- Dirección Seccional de Salud de Antioquia. Mortalidad en Antioquia [Sitio en Internet] Disponible en: http//www.dssa.gov.co/htm/index.htm. Consultado. 22 de febrero de 2006. Consultado. 22 de febrero de 2006.

- Ernst A, Zibrak J. Carbon Monoxide Poisoning. The new England Journal of Medicine.1998; 399(26):1603-1608. [sitio en Internet] Disponible en: http://content.nejm.org/cgi/content/full/399/22/1603?andorexacttitleabs=and&search_tab... Consultado: 08 de febrero de 2006.

- Espirometría. “Laboratorios de fisiología humana I”. [Sitio en Internet] Disponibleen:http://www.monografias.com/trabajos12/espiromen/espirom.Shtml. Consultado 17 de junio de 2006.

- Estudios bioquímicos y toxicológicos de agentes carcinogénicos en el material particulado del aire de santiago. [sitio en Internet] Disponible en: www.gnc.org.ar/salud/lionel/ Gil 02.htm-21k. Consultado 25 de junio de 2006.

- Gamble JF. $PM_{2.5}$ and mortality in long – term prospective cohort studies cause – effect or statical associations? Environ Health Perspective 1998; 106(9):535 549[sitio en internet] Disponible en: http//ehpnet1.niesh.nih.gov/docs/1998/106 p 535-549 gamble/abstract.html. Consultado 25 de junio de 2006

- Gobierno de Chile Comisión Nacional del Medio Ambiente. Dióxido de nitrógeno ($NO_{2)}$ [Sitio en Internet].http://www.conama.cl/rm/568/article-1156.html. consultado 6 de Febrero de 2006.

- Medina S, Plasencia A, et al. Apheis: public health impact of PM10 in 19 European cities. J. epidemiol. community health 2004; 58: 831-836 [sitio en Internet Disponible en: http://jech.bmjjournals.com/cgi/content/full/58/10/831. Consultado: 02 de noviembre de 2005.

- Monóxido de carbono. [sitio en Internet] Disponible en: http://html.rincondelvago.com/monóxido-de-carbono.1html. consultado: 08 de febrero de 2006.

- Organización Mundial de la Salud. Las directrices sobre la calidad del aire en la protección de la salud pública: actualización mundial. [sitio en Internet] Disponible en:http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/print .html. consultado: 16 de enero de 2007.

- Sánchez J, Romieu I, Ruiz S, Pino P, Gutiérrez M. Efectos Agudos de las partículas respirables y del dióxido de azufre sobre la salud respiratoria en niños del área industrial de Puchuncavi Chile. [Sitio en Internet] Disponible en: file://c:Docume1/pc/config1/temp/811M4YPA.htm. Consulta: 17 de mayo de 2004.

- Suárez S. Por el aire que respiramos. [sitio en Internet] Disponible en: http:/www.presidencia.gov.co/columnas/columnas169.htm. Consultado: 20 de febrero de 2006.

- The new England Journal of Medicine. The effect of air pollution on lung development from 10 to 18 years of age [Sitio en Internet]. Disponible en: http://content.nejm.org/cgi/content/full/351/11/1057?andorexacttitleabs=and& search_tab…Consultado 6 de Febrero de 2006.

- The new England Journal of Medicine. Ozone_ from environmental pollutant to atherogenic determinant [Sitio en Internet]. http:/content.nejm.org/cgi/content/full 350/8/834?andorexacttitleabs=and & search_tab=ar…Consultado 6 de Febrero de 2006.

- Wilson J, Kingham S, Pearce J. et al. A review of intraurban variations in particulate air pollution: Implications for epidemiological research. Atmospheric Environment. 2005; 39: 6444-6462 [sitio en internet] Disponible en: http//www.elsevier.com/locate/atmosenv. Consultado. 25 de junio de 2005.

5.3 Libros

- Air & Waste Management Association. Particulate Matter: Health and Regulatory Issues. Vip 49. Conference Hosted. Pittburgh, Pensylvania April 4-6, 1995.

- Antó J, Castellanos P, Gili M, Marset p, Navarro V. “Vigilancia de la salud pública. En: Martínez F. Salud Pública”. Santa fe de Bogotá: McGraw Hill Interamericana. 1998.

- Bedoya J. El hombre y su ambiente: La problemática de contaminación ambiental y aportes para su solución. 3 ed Medellín: Centro de Publicaciones UN; 2002, v300. 190 p.

- Espigares M, Lardelli P, Jiménez J. Epidemiología ambiental. Capítulo 24, parte III. Editorial Masson S.A. p 257-267.

- Lippman M. Environmental Toxicants: Human Exposures and Their Health Effects. New York: Van Nostrand Reinhold; 1992.

- Martínez F. (2004). "Vigilancia epidemiológica". Madrid España: McGraw Hill Interamericana, pag 15-37.

- Ostro B. Estimating the Health Effects of Air Pollutants; a method with an Appliction to Jakarta. Policy Research Working Paper 1301. The World Bank Policy Research Department Public Economics Division 1994.

- Orduz C. Asma Ocupacional. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana1999.

- Orduz C, Bocanument L, Zapata G. Respirando. Medellín: Instituto de Seguros Sociales, 1998.

- Rothman K, Greenland S. "Modern epidemiology". 2nd ed. EEUU: Lippincott Williams & Wilkins. 1998.

- Sierra A, Álvarez R, Zafra J. Contaminación atmosférica. Capitulo27, parte III. Editorial Masson S.A. p 289-299.

- Suramericana, Susalud, Suratep, Dinámica IPS. Clasificación Internacional de Enfermedades CIE 10.

- Zapata o. Contaminación del aire por material particulado zonas urbanas complejos industriales o mineros, dispersión y monitoreo: contaminación del aire por material particulado: efectos en la salud. Medellín: Ainsa; asociación de ingenieros de Antioquia; 1993. P.31-48

5.4 Indicadores

- Medellín (Antioquia). Secretaría de salud, subsecretaría de planeación. (2005). /Situación de salud en Medellín, indicadores básicos 2005/ Medellín/ secretaría de salud.

5.5 Enuarios estadísticos metropolitanos

- Medellín (Antioquia). Departamento Administrativo de Planeación metropolitana. / Anuario Estadístico Metropolitano/ Medellín Creset. Consultados los años: 1980 hasta 2002.

5.6 Anuarios estadísticos de Antioquia

- Antioquia (Colombia). Departamento Administrativo de Planeación / Anuario Estadístico de Antioquia/ Medellín. Departamento Administrativo de Planeación. Consultados los años 1980 hasta 2002.

5.7 Documentos de apoyo.

- Abstracts:

- Amitai Y, et al. Neuropsychological impairment from acute low-level exposure to carbon monoxide. Arch Neurol 1999; 56(10):1299.

- Bullinger M. Association between air pollution and well-being. Occupational and Environmental Medicine 2006; 63:230-236.

- Brunekreef B, Hoek G. Beyond the body count: air pollution and death. American Journal of Epidemiology 2000; 151(5):440-448.

- Chen L, Yang W, Jennison B, Omaye S. Air particulate pollution and hospital admissions for chronic obstructive pulmonary disease in Reno, Nevada. Inhalation Toxicology 2000; 281-298.

- Coyle D, et al. Impact of particulate air pollution on quality-adjusted life expectancy in Canada. J Toxicol Environ Health A 2003; 66(16-19):1847-1863.

- DeMarini D, Claxton L. Outdoor air pollution and DNA damage. Environmental Carcinogenesis Division (B134-06), US Environmental Protection Agency.
- Ebelt S, Petkau A, Vedal S, et al. Exposure of chronic obstructive pulmonary disease Patients to particulate matter: relationhips between personal and ambient air concentrations. Journal of the Air & waste Management association 2000; 50(7):1081-1094.

- Jensen L, Klausen H, Elsnab C. Organic brain damage in garage workers after long-term exposure to diesel exhaust_fumes. Ugeskr Laeger 1989; 151(36):2255-2258.

- Karakatsani A, Andreaki S, et al. Air pollution I relation to manifestations of chronic pulmonary disease: a nested case-control study in Athens, Greece. European Journal of Epidemiology 2003; 18(1):45-53.

- Linn W, Gong H, Clark K, Anderson K. Day-to-day particulate esposures and health changes in the Angeles area. Journal of the air & waste Management Association 1999; 49(9):108-115.

- Lundberg A. Psychiatric_aspects_of_air_pollution. Otolaryngol Head Neck Surg 1996; 114(2):227-231.

- Makin J, Fried P, Watkinson B. A comparison of active and passive during pregnancy: long-term effects. Neurotoxicol Teratol 1991; 13(1):5-12.

- Pelham T, Holt L, et al. Exposure to carbon monoxide and nitrogen dioxide in enclose ice arenas. Department of Pathology, Faculty of Medicine, Dalhousie University Halifax Nova Scotia, Canada.

- Peper M, Klett M. Morgenstern R. Neuropsychological effects of chronic low-dose exposure to polychlorinated biphenyls (PCBs): a cross-sectional study. Charite Universitatsmedizin Berlin, Institute of Pharmacology and Toxicology (CCM), Dorotheenstr. 94, 10117 Berlin Germany. Peper@psychologie.uni-freiburg.de

- Perez S, Ballester F, Tenias J, Merelles A, Rivera M. Length of stay in a hospital emergency room due to asthma and chronic obstructive pulmonary disease: Implications for air pullution studies. European Journal of Epudemiology 2000; 16(5); 455-463.

- Rossi G, Vigotti M, et al. Air pollution and cause-especific mortality in Milan, Italy, 1980-1989. Arhives of environmental Health 1999; 54(3):158-164.

- Schwartz J. Air pollution and daily mortality in Birmingham, Alabama. Am J Epidemiol 1993; 137(10): 1136-1147.

- Schwartz J. Air pollution and hospital admissions for the elderly in Detroit, Michigan. . Department of Enviromental Health, Harvard School of Public Health, Boston, Massachusetts 02115 USA.

- Schwartz J. Dockery D, Schwartz J, Spengler J. Air pollution and daily mortality: Associations whit particulates and acid aerosols. Environmental Epidemiology program, Department of Enviromental Health, Harvard School of Public Health, Boston, Massachusetts 02115 USA.

- Schwartz J. Harvesting and long term exposure effects in the relation between air pollution and mortality. Am J Epidemiol 2000; 151(5):449-451.

- Schwartz J. Lung function and chronic exposure to air pollution: a cross – sectional analysis of NHANES II. U.S Environmental Protection Agency, Washington, D.C. 20460.

- Schwartz J. What are peopling Dying of high air pollution days? Harvard Univ, Sch Publ Hlth, Environm Epidemiol Program, 665 Huntington Ave, Boston, MA 02115, USA.

- Sipple J, Pedula K, et al. Associations of smoking with hospital-based care and quality of life in patients with obstructive_airway_disease. Chest 1999; 115(3):691-696.

- Sunyer J, Schwartz J, Tobias A, Macfarlane D, Garcia J, Anto J. Patients with chronic obstructive pulmonary disease is at increased risk of death assocciated with urban particle air pullution: a case-crossover analysis. American Journal Epidemiology 2000; 151(1):50-56.

- Tovalin H, Valverde M, et al. DNA damage in outdoor workers occupationally exponed to environmental air pollutans. Occupational and Environmental Medicine 2006; 63:227-229.

- Tellez M, Romieu I, Ruiz S, Lezana M. Daily respiratory mortality and PM10 pollution in Mexico city: importance of considering place of death. Eur Respir J 2001; 17(5): 1055-1056.

- Williams I, Bird A. Public perceptions of air quality and quality of life in urban and suburban areas of London. J Environ Monit 2003; 5(2):253-259

- Yamasaki S, Nitta H, Murakami Y, Fukuhara S. Association between ambient air pollution and health-related quality of life in Japan:_ecological_study. Int J Environ Health Res 2005; 15(5):383-391.

- Yamasaki S, et al. Living close to automobile traffic and quality of life in Japan: a population-based survey. Int J Environ Health Res 2005; 15(1):1-9.

- Air & waste Management Association. 2006 Publications Catalog.

- Annual data quality report. For the monitoring and laboratory division`s and local districts`air monitoring networks the report was prepared by Julie Cooper.

- Asthma and low level air pollution in Helsinki. (experimental and epidemiological studies). Archives of Environmental Health, sep – oct, 1991.

- Bedoya J. “La polución bajó 30% con el pico y placa ambiental”. Periódico el Tiempo (Bogota), 2 de Septiembre de 2006.

- Capitulo 6: predicción y evaluación de impactos sobre el medio ambiente atmosférico. (manual de evaluación de impacto ambiental)

- Centers for Disease Control and Prevention National Center for Environmental Health Division 2005. "Environmental Indicators in Public Health". 2005. Environmental Public Health Indicators Project; CDC, NCEH, EHHE; Atlanta, Georgia March 2005.

- Comments on "PM2.5 mortality in long-term prospective studies: Cause – Effect or statistical association?".

- Contaminantes específicos. (material particulado o partículas totales en suspensión (PST).

- Corvalán C, Briggs D, Zielhuis G. "Decision-making in environmental health: from evidence to action". Organización Mundial de la Salud 2000.

- Distribución espacial y temporal de la concentración de material particulado en Santa Marta. (Francisco Fernando García R) Ingeniero Ambiental y Sanitario, docente Universidad del Magdalena. Grupo de control de la contaminación.

- Documento Conpes 3344. Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire.

- Effect of applied magnetic fields and hydrostatic pressure on the optical transitions in self- assembled *InAs/GaAs* quantum dots.

- Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud de la población del Valle de Aburrá. Área metropolitana. (estrategia de participación ciudadana).

- Evaluación de los efectos de la contaminación del aire en la salud de América Latina y el Caribe. Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, OPS, OMS.

- Final report Colombia. Cost of Environmental Damage. A socio – Economics, and Environmental Health Risk Assessment.

- Gouveia N, Maisonet M. (2005). "Health effects of air pollution. En: Organización Mundial de la Salud. WHO Air Quality Guidelines: 2005 update". Holanda.

- Health Effects of Particulate Air Pollution: <<time for Reassessment? C Arden Pope lll, David V. Bates, and Mark E. Raizenne.

- Impact sanitaire de la pollution atmosphèrique urbaine. Rapport 1. AFSSE (Agencia Francesa de Seguridad Sanitaria y Ambiental) jun 2004.
- Korc M. Tema I Gestión de la calidad del aire: Calidad del aire y su impacto en la salud en América Latina y el Caribe. CEPAL- 2001. N9. P15-32.
- OMS. Definición de los riesgos para la salud. Informe sobre la salud en el mundo, 2002.
- Organización Mundial de la Salud. “Quantification of the Health Effects of Exposure to Air Pollution”. Organización Mundial de la Salud 2006: Holanda.
- Organización Panamericana de la Salud. “An Assessment of Health Effects of Ambient Air Pollution in Latin America and the Caribbean” Organización Panamericana de la Salud 1989. Santiago; Chile.
- Método de referencia para muestreo y análisis de monóxido de carbono.
- Método de referencia para la determinación de partículas suspendidas menores de 10 micras (PM -10).
- Método de referencia para muestreo y análisis de dióxido de nitrógeno (método arsenito de sodio).
- Modulo 5: Manejo de calidad del aire (texto de referencia para formuladotes de políticas públicas en ciudades en desarrollo).
- Néstor Rojas El camino hacia el aire limpio. EL TIEMPO, 2007.
- Práctica de laboratorio, química del aire y suelo (práctica 2) método de referencia para muestreo y análisis de dióxido de azufre (método de laparosanilina).
- Prevalencia de la enfermedad pulmonar y obstructiva crónica en Colombia (Prepocol). Resultados en la ciudad de Bogotá (Asociación Colombiana de Neumología y Cirugía de Tórax. Fundación Neumológica Colombiana.
- Sarmiento I. Congestión vehicular en Medellín, El colombiano mayo 12 de 2006.
- Solarte I Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños menores e 14 años en Santa fe de Bogotá; 99.
- Suárez H, Ospina N, Gómez A. Calida del aire en el Valle de San Nicolás CORNARE 1998-2004.

- Larsen Bjorn. Cost of environmental damage: a socio-economic and environmental health risk assessment, Colombia. Final report, 2004. 70 p.

- Samet J. Environmental tobacco smoke. p 231-265. En: Environmental toxicants. Human exposures and their health effects. Ed Morton Lippmann. New York, 1992. 699 p.

- Lippmann M. Introduction and background. p 1-29. En: Environmental toxicants. Human exposures and their health effects. Ed Morton Lippmann. New York, 1992. 699 p.

- Kleinman M. Health effects of carbon monoxide. p 98-118. En: Environmental toxicants. Human exposures and their health effects. Ed Morton Lippmann. New York, 1992. 699 p.

- Mauderly J Diesel Exhaust. p 119-162. En: Environmental toxicants. Human exposures and their health effects. Ed Morton Lippmann. New York, 1992. 699 p.

Este documento hace parte del informe final del proyecto de investigación *Contaminación Atmosférica y Efectos en la Salud*, realizado por el grupo de Epidemiología, línea de Prevención y Promoción de la Salud, y financiado por Municipio de Medellín, Municipio de Itagüí, Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Universidad de Antioquia.
Convenio interadministrativo 477/05.

El contenido académico es responsabilidad de los autores que lo suscriben y no compromete a las entidades participantes.

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Y EFECTOS SOBRE LA SALUD DE LA POBLACIÓN

Medellín y su área metropolitana

Diagnóstico Ambiental

documento 2 de 4

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA 1803

Alcaldía de Medellín

Alcaldía de Itagüí

Área METROPOLITANA del Valle de Aburrá

Diagnóstico de la Contaminación Atmosférica en el Valle del Aburrá

Elkin Martínez López
Julián Bedoya Velásquez
Mauricio Correa
Ana Marcela Muñoz
John Jairo Paz
Olga Cecilia Morales
Alexander Romero
Ana Milena Marín
Alexandra Montoya

Centro de Investigaciones
Facultad Nacional de Salud Pública
Universidad de Antioquia
Medellín. Colombia
2007

CONTENIDO

pág

Introducción 7

Marco Teórico 11

- Contaminación del Aire
  - Geografía y meteorología
  - Material particulado
  - Monóxido de carbono (CO)
  - Óxidos de nitrógeno (NO_x)
  - Óxidos de azufre (SO_x)
  - Ozono (O_3)
- Aspectos geográficos del Valle de Aburrá
- Automotores y espacio público
- Antecedentes en monitoreo ambiental
- Marco normativo colombiano

Objetivos 23

Métodos 27

- Tipo de estudio
- Variables
- Datos
- Análisis estadístico

Resultados 31

- Variables Sociodemográficas
- Gradiente por densidad
- Gradiente por distancia Registrador - Fuente
- Reproducibilidad
- Diagnóstico Ambiental
  - Ciclo diario
  - Ciclo semanal
  - Ciclo anual
  - Tendencia
  - Partículas totales en suspensión (PST)
  - Material particulado (PM_{10})
  - Óxidos de nitrógeno (NO_x)
  - Óxidos de azufre (SO_x)
  - Monóxido de carbono (CO)
  - Ozono (O_3)
  - Altura, temperatura y precipitación

Discusión 83

Conclusiones ……..... **93**
Bibliografía …….. **97**

introducción

INTRODUCCIÓN

Más de 3 millones de personas han establecido su lugar de residencia a lo largo del Valle que atraviesa el río Medellín y que se sitúa a 1.500 metros sobre el nivel del mar. 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 18 - 22 ℃.

Por su parte, el desarrollo industrial va generando una gran proliferación de fábricas, empresas y actividades comerciales que propician una mayor concentración de personas en torno a su lugar de empleo y aumentan los requerimientos de transporte de los ciudadanos desde y hasta los lugares de residencia.

Más de 600 mil vehículos a motor circulan regularmente en la estrecha red vial del área metropolitana, de los cuales cerca de 10 mil son vehículos grandes para el transporte de personas o de carga, y cuyo oficio es ir y venir varias veces durante todos los días de la semana en una incesante combustión de gasolina y diesel.

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.

Dado que tantas actividades industriales y de transporte utilizan procesos de combustión que arrojan a la atmósfera subproductos indeseables tales como material particulado, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, monóxido de carbono y propician la formación de contaminantes como el ozono y otros, resulta procedente preguntarse: ¿Cual será la calidad de aire en Medellín y su área metropolitana? Cómo son los niveles de contaminantes en la atmósfera? ¿Cómo se distribuyen? Cual de los contaminantes se sitúa en niveles críticos? ¿Qué peligros potenciales se estarían generando?. Estos interrogantes son el objeto básico del presente documento.

marco teórico

MARCO TEÓRICO

Contaminación del Aire

Es frecuente encontrar informes en las grandes ciudades que muestran incumplimiento de las normas de calidad del aire. La fuente principal de esta contaminación se da en el uso amplio de combustibles fósiles (a veces de muy mala calidad), uso ineficiente de la energía con los vehículos automotores, y la demanda creciente del transporte. Los contaminantes del aire presentes en las grandes ciudades han demostrado ser un riesgo mayor para enfermar y morir por enfermedades respiratorias y cardiovasculares. La evidencia de numerosos estudios en diferentes partes del mundo relacionan las altas concentraciones de contaminantes del aire con efectos agudos y crónicos en la salud. El exceso de mortalidad por causas cardiovasculares, respiratorias, cáncer de pulmón e infecciones respiratorias agudas en los niños ha sido asociado con la presencia de niveles de contaminantes que exceden las normas de calidad del aire exterior. (Pope & Dockery 1995).

El aire puro es una mezcla gaseosa de nitrógeno (78%), oxígeno (21%) y cantidades menores de dióxido de carbono, argón, ozono y otros gases (1%). La contaminación del aire es el cambio en el equilibrio de estos componentes, y se puede definir como "cualquier condición atmosférica en la que las sustancias presentes producen un efecto adverso medible en la salud del humano, los animales y vegetales, o bien un daño físico en los materiales (edificaciones y monumentos)" (Nevers, 1998). Los contaminantes atmosféricos se clasifican en primarios y secundarios, siendo los primeros aquellos que permanecen en la atmósfera tal y como fueron emitidos, como las partículas, el monóxido de carbono (CO), el dióxido de carbono (CO_2), los óxidos de nitrógeno (NO_x), los óxidos de azufre (SO_x) y los hidrocarburos. Los secundarios son los que han estado sujetos a cambios químicos o son el producto de reacciones de dos o más contaminantes primarios en la atmósfera (como el ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido nítrico (HNO_3), el ozono (O_3), el smog fotoquímico y los compuestos orgánicos volátiles (COV_s).

Las fuentes de contaminación atmosférica se clasifican en fijas y móviles; entre las primeras se encuentran las emisiones de procesos industriales, canteras, minería, calderas, centrales térmicas, y las segundas las producen principalmente los vehículos de todo tipo, los aviones y las motocicletas. Generalmente la contaminación del aire se vuelve más crítica principalmente en los grandes centros urbanos, donde factores como el crecimiento acelerado de las industrias, del parque automotor, construcciones, quemas, mal manejo de desechos sólidos, entre otros, aumentan los perjuicios (OPS, 2005).

Geografía y meteorología

Gran parte de la población mundial (personas que viven en ciudades como Ciudad de México, Los Ángeles, Santiago de Chile, entre otras), está expuesta a niveles de contaminación atmosférica que exceden los límites planteados por la Organización Mundial de la Salud (OMS 2002, Korc 2002). Este organismo ha considerado que existe comprobada evidencia de las consecuencias negativas que sobre la salud tiene la exposición a la contaminación atmosférica cuando se sobrepasan ciertos límites en concentración y en tiempo (WHO 2005, OMS 2006).

Las condiciones geográficas y climáticas afectan la dispersión de los gases y partículas generadas por la industria, el transporte y las residencias, lo cual determina en última instancia las condiciones atmosféricas de una ciudad o región. La temperatura ambiental, la humedad y la pluviosidad, la velocidad y la dirección del viento, la estabilidad atmosférica, las altas y las bajas presiones, sumado a la topografía (valles, montañas) condicionan la concentración final de los contaminantes atmosféricos.

Es posible que se produzca el fenómeno de inversión térmica cuando una capa de aire frío se ubica debajo de una capa de aire caliente, haciendo que los contaminantes no se dispersen, se mantengan y se acumulen cerca del suelo, lo que sumado a una baja velocidad del viento permite que estas condiciones sean duraderas. La inversión térmica puede retener el ascenso y dispersión de los contaminantes de las capas más bajas de la atmósfera y causar un problema localizado de contaminación del aire. La proximidad de una gran área metropolitana a una cadena de montañas también puede tener un efecto negativo sobre el transporte y la dispersión de contaminantes (Enkerlin 1997).

Los Ángeles, Denver, Ciudad de México y Santiago de Chile están ubicados en cuencas rodeadas por montañas. Estas ciudades experimentan altos niveles de contaminación del aire influenciados por la topografía del área circundante. Las causas de sus problemas de contaminación son complejas, estas situaciones demuestran cómo los factores naturales favorecen la mayor concentración de contaminantes (Enkerlin 1997). Poco se puede hacer para minimizar los efectos de las fuerzas naturales sobre el transporte y dispersión de contaminantes, la mejor estrategia disponible es prevenir la producción de contaminantes del aire en la fuente y conocer a la perfección la micrometeorología de la región.

Material particulado

Con la denominación de Partículas Suspendidas Totales (PST) se reconoce una amplia categoría de material particulado como contaminante (diámetro aerodinámico inferior a 30 µm). Las PST son las partículas sólidas o líquidas del

aire, se incluyen contaminantes primarios como el polvo y el hollín, y contaminantes secundarios como partículas líquidas producidas por la condensación de vapores. Desde la segunda mitad de la década de los 80's varios países incluyeron en sus normas sobre material particulado a las partículas con menos de 10 µm de diámetro aerodinámico (PM_{10}). En la segunda mitad de la década de los 90's, las normas sobre material particulado incluyeron también al material particulado con menos de 2,5 µm ($PM_{2,5}$) (Radian, 1997; ACGIH, 2005).

Las partículas gruesas tienen un diámetro de 2,5 a 40 µm aproximadamente según su comportamiento aerodinámico. Se forman por la trituración mecánica, la molienda o la abrasión de superficies; el viento y el tráfico las suspende o las dispersa. Las partículas finas son menores de 2,5 µm ($PM_{2.5}$) y penetran profundamente en los pulmones; provienen generalmente de fuentes de combustión y de la condensación de materiales volatilizados (material particulado primario) o de gases precursores que reaccionan en el aire y forman partículas secundarias (Nevers, 1998).

En la naturaleza el material particulado se forma por muchos procesos, tales como el viento, la polinización de plantas y los incendios forestales. Las principales fuentes antropogénicas de pequeñas partículas incluyen la quema de combustibles sólidos como la madera y el carbón, las actividades agrícolas como la fertilización y almacenamiento de granos, la industria de la construcción y la circulación de los automóviles por calles y avenidas en mal estado o no pavimentadas (CEPIS, 2005).

Una mayor atención se ha concentrado en las partículas PM_{10}, que pueden ser inhaladas y penetrar con facilidad al sistema respiratorio humano causando efectos adversos en la salud de las personas. Las de diámetro mayor de 10 micras, que no ingresan al aparato respiratorio, quedan atrapadas en las fosas nasales. La cantidad de material particulado inhalado depende de la respiración (frecuencia y profundidad) de cada persona y del tamaño de la partícula. Las partículas más grandes se depositan en el área extratoráxica de los pulmones (fosas nasales, laringe). Las partículas entre 5 y 10 micras se depositan en los bronquios y las menores de 5 micras se depositan en los bronquíolos y alvéolos. Las partículas depositadas en los pulmones son eliminadas generalmente por la actividad mucociliar y por los macrófagos en periodos que pueden ser de semanas a años (Pope y Dockery 2006).

Se postula que ninguna técnica disponible actualmente permite analizar la totalidad de los compuestos orgánicos presentes en la atmósfera como material particulado. Independientemente de que la partícula sea un ácido, un metal, granito o gasolina, el tamaño es el factor que determina su comportamiento en la atmósfera y en las vías respiratorias. Las partículas de mayor tamaño (el polvo que se levanta del suelo o el que es erosionado de las rocas) viajan distancias menores y generalmente son capturados en las vías respiratorias superiores. Las

partículas extremadamente pequeñas, emitidas en cantidades de trillones por vehículos diesel, aviones, plantas generadoras y otras fuentes pueden viajar miles de kilómetros y permanecer en suspensión por semanas o meses.

La composición química de las partículas refleja su fuente y varía con el tamaño de las partículas. En partículas finas ($PM_{2.5}$) se encuentran sulfatos, hidrocarburos aromáticos policíclicos, plomo, arsénico, berilio, cadmio, amonio, mercurio, sulfatos y nitratos; las partículas con diámetro entre PM_{10} y $PM_{2.5}$ están compuestas por materiales cristalinos como sílice, compuestos de hierro y aluminio; la masa de partículas ultrafinas está compuesta por material orgánico y también por contaminantes inorgánicos como sulfatos, amonio y otros. Las partículas finas pueden estar constituidas o transportar metales pesados, hidrocarburos aromáticos policíclicos u otros elementos nocivos, los cuales pueden causar daño a la salud en el largo plazo (Hussein, 2004, Pope 2002).

Monóxido de carbono (CO)

El monóxido de carbono es un contaminante atmosférico sumamente tóxico y peligroso, producto de la combustión incompleta de los hidrocarburos, principales componentes de la gasolina, la madera, hulla y otros materiales. El CO es un gas que no se puede ver ni oler pero que puede causar la muerte cuando se respira en niveles elevados, intoxica la sangre impidiendo el transporte de oxígeno pulmonar hacia los tejidos y las células del organismo lo que constituye su principal peligro. La combustión de la gasolina casi nunca es completa aún en los automóviles más modernos y recién ajustados pues siempre se forma alguna cantidad de monóxido de carbono (CO), especialmente si las gasolinas no son de buena calidad. (Nevers, 1998).

Óxidos de nitrógeno (NO_x)

Los óxidos de nitrógeno son una mezcla de gases compuestos de nitrógeno y oxígeno. El monóxido de nitrógeno y el dióxido de nitrógeno constituyen dos de los óxidos de nitrógeno más tóxicos; ninguno de los dos es inflamable y son incoloros en apariencia a temperatura ambiente. El monóxido de nitrógeno es un gas de olor dulce penetrante a temperatura ambiente, mientras que el dióxido de nitrógeno tiene un fuerte olor desagradable. El dióxido de nitrógeno es un líquido a temperatura ambiente, pero se transforma en un gas pardo-rojizo a temperaturas sobre 20℃. Los óxidos de nitrógeno son liberados al aire provenientes de la emisión de los vehículos, de los procesos de combustión del carbón, petróleo, o gas natural. También son producidos comercialmente al hacer reaccionar el ácido nítrico con metales o con celulosa. Son usados en la producción de ácido nítrico, lacas, tinturas y otros productos químicos. Son degradados rápidamente en la atmósfera al reaccionar con otras sustancias comúnmente presentes en el aire. La reacción del dióxido de nitrógeno con sustancias químicas producidas por la luz

solar lleva a la formación de ácido nítrico, el principal constituyente de la lluvia ácida, el ozono y el smog fotoquímico (ATSDR, 2006).

Óxidos de azufre (SO_x)

Los óxidos de azufre son una fuente importante de contaminantes atmosféricos que son producidos por los gases de los escapes de los automóviles, las refinerías de petróleo, los procesos de fabricación del papel y las industrias químicas. El dióxido de azufre (SO_2) y el anhídrido sulfúrico (SO_3) son dos tipos de óxidos de azufre. El SO_2 o dióxido de azufre tiene relación directa como componente de la lluvia ácida, cuyos efectos son nocivos tanto en las grandes ciudades, acelerando la corrosión de edificios y monumentos y reduciendo significativamente la visibilidad, como en el campo, produciendo la acidez de lagos, ríos y suelos. El SO_3 o anhídrido sulfúrico es un agente deshidratante poderosísimo, se obtiene por oxidación del anhídrido sulfuroso (SO_2). Por calentamiento de ácido sulfúrico se desprende SO_3. El dióxido de azufre es un gas incoloro, irritante, con sabor amargo, que se disuelve en el agua para formar el ácido sulfuroso. Bajo presión es un líquido y no entra en combustión, este gas incoloro y con sabor ácido picante, es percibido por el olfato en concentraciones hasta de 3 ppm (0,003%) a 5 ppm (0,005%). Cuando se encuentra en niveles de 1 a 10 ppm induce al aumento de la frecuencia respiratoria y del pulso (ATSDR, 2006).

Ozono (O_3)

El ozono es una molécula gaseosa formada por tres átomos de oxígeno. El que está situado en la capa de aire más cercana a la tierra (troposfera) forma, junto a otros tóxicos, una mezcla de gases contaminantes conocida como "smog fotoquímico" dañina para la salud. El ozono situado en la estratosfera protege la vida en la tierra al absorber parte de los rayos ultravioleta del sol. El ozono (O_3) es un gas incoloro cuyo olor se detecta a niveles muy bajos. Se forma como resultado de la interacción entre compuestos orgánicos como cetonas, aldehídos e hidrocarburos no saturados y óxidos de nitrógeno en presencia de la luz solar. También es formado por cualquier otra fuente de energía de gran capacidad, como rayos, equipos eléctricos de alto voltaje y dispositivos para la purificación del aire y el agua. (Bromberga y Korenb, 1995).

El ozono es uno de los principales contaminantes atmosféricos presentes en las zonas altamente industrializadas y en las ciudades con un número alto de automóviles. Más de la mitad de los ingredientes necesarios para producir el ozono provienen de los gases de escape de los automóviles. La formación del ozono tiene lugar más frecuentemente en las horas de la mañana y al mediodía y empieza a disminuir al finalizar la tarde y al llegar el anochecer.

Aspectos geográficos del Valle de Aburrá

La situación ambiental del Valle de Aburrá está enmarcada en una zona de gran explosión demográfica, con un asentamiento topográfico desfavorable para la dispersión de contaminantes, valle estrecho, encañonado, donde el régimen de vientos sólo permite el desplazamiento de estos con poca dispersión a las capas más altas de la atmósfera; cuenta además con un gran número de asentamientos industriales considerados como fuentes importantes de contaminación y que se encuentran concentrados principalmente a lado y lado del corredor del río Medellín y hacia el sur del valle (Pineda y Ávila, 1992). En la parte central de éste se presenta la condición meteorológica de inversión de temperaturas en la que el aire relativamente caliente se superpone a una capa fría, la cual origina una turbulencia mínima y pronunciada inversión térmica y estabilidad en las horas de la mañana. Este fenómeno puede afectar áreas bastante extensas y cuando persiste durante varias horas o incluso días tiende a elevar las concentraciones de contaminantes.

Automotores y espacio público

Los vehículos a través de sus exhostos emiten gases que contienen diversos contaminantes tales como: monóxido de carbono, óxidos de azufre, hidrocarburos sin quemar y otros. La concentración de contaminantes en estos gases depende del tipo de combustible utilizado (gasolina o ACPM) y del estado en que se encuentre el motor. El régimen de marcha influye notablemente en la cantidad y composición de los escapes, coadyudando el tipo de circulación y la topografía del terreno. Además, las emisiones de material particulado, dióxido de azufre y nitrógeno por sus efectos propios o sinérgicos al reaccionar entre ellos producen neblinas, smog fotoquímico y lluvia ácida. La concentración local de estos contaminantes alcanza niveles considerables, particularmente en los centros urbanos del área metropolitana, donde la circulación de vehículos es muy densa (Sarmiento 2006), lo cual incide en la salud de los pobladores y en los distintos componentes del ecosistema urbano, el microclima y el régimen hidrológico del Valle de Aburrá.

El centro de Medellín, por sus condiciones físicas y por las actividades que allí se desarrollan, se constituye en un componente especial del ecosistema urbano. El alto desarrollo constructivo de la zona, tanto volumétrico como en altura, y la carencia de controles ambientales de protección han generado condiciones tales como:

- Altas congestiones de tráfico vehicular.
- Aumento de la contaminación por smog fotoquímico, manifestado en la poca visibilidad, el aspecto café de la atmósfera y el ardor en los ojos y vías respiratorias que sufre la población cuando va al centro de la ciudad o está cerca de vías arterias.

- Aglomeraciones humanas, cada vez más abundantes, en horas pico.
- Aumento de la temperatura, debido a la reflexión del calor en el concreto y el vidrio, dada la escasez de zonas verdes.
- Incremento de avisos publicitarios que no tienen un adecuado ordenamiento ni armonizan entre sí, originando deterioro y degradación del ambiente urbano.
- La calidad del espacio público se ha deteriorado con el incremento de la economía informal, animales que deambulan, botaderos de escombros, etc.

La situación anterior muestra como las condiciones ambientales están deterioradas en esta zona, dado que se constituye un sistema semicerrado en el que se ve obstaculizada la circulación de corrientes de aire que sirven para dispersar los contaminantes.

Antecedentes en monitoreo ambiental

Desde 1975 se han realizado esfuerzos en el área metropolitana del Valle de Aburrá para monitorear la calidad del aire. Durante el período 1975 a 1983 funcionó la Red Panaire; posteriormente de 1984 a 1991 Metrosalud, en convenio con el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, operó 10 estaciones de medición. En junio de 1993 inició labores la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá - Redaire, iniciativa resultante de la suma de esfuerzos de la Dirección Seccional de Salud de Antioquia, Metrosalud, la Universidad de Antioquia, la Universidad Pontificia Bolivariana y el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid (Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá, 2001).

En octubre de 2000, a través del convenio de cooperación científica y tecnológica celebrado entre el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Corantioquia, la Universidad de Antioquia, la Universidad de Medellín, el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, la Universidad Pontificia Bolivariana y la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín), se reinició el monitoreo de la calidad del aire en el Valle de Aburrá, siguiendo prácticamente el mismo esquema de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá. A 2007 se cuenta con 18 estaciones para el monitoreo de contaminantes del aire que miden partículas totales suspendidas, en tres estaciones se mide sistemáticamente monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre.

En los boletines de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá se encuentran consignados datos sobre la contaminación atmosférica en cada una de estas estaciones, con mediciones recopiladas cada mes de óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y partículas suspendidas totales, encontrándose que en varias de las estaciones los valores sobrepasan los límites permitidos en el país. Los datos se obtienen de cada estación y se informa el promedio por hora en $\mu g/m^3$ para cada uno de los contaminantes (Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá, 2001).

Desde 1997 la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá había utilizado el Índice de Calidad del Aire ICA (*surgió de la modificación del Pollution Standard Index PSI usado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos EPA*) para tener un referente de los rangos en los cuales los valores de las concentraciones son más dañinos para la salud de las personas. El problema de la utilización de este índice es que solamente incluye contaminantes como las partículas respirables y el ozono que, de acuerdo con estudios realizados en la región metropolitana, son los que estaban presentando mayores concentraciones. (UPB, 2005)

En el año 2005 el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, por medio de convenio con la Universidad Pontifica Bolivariana, realizó la modificación del Índice de Calidad del Aire utilizado, para lo cual se definió que se debía utilizar el Índice de Calidad Atmosférica (AQI), este se caracteriza por su relación directa entre los niveles de concentración de los contaminantes y los efectos en la salud. Este indicador, al igual que el ICA, mencionado anteriormente, fue desarrollado por la EPA y de acuerdo con su última revisión del año 1998 incluía seis contaminantes: monóxido de carbono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, PM_{10}, $PM_{2.5}$ y ozono.

El AQI convierte la concentración media de uno o varios contaminantes a una escala que va de cero a quinientos, teniendo en cuenta los tiempos de exposición. Por ejemplo, si el PM_{10} tiene una concentración de 155 - 254 µg/m^3 el rango AQI que se le da es de 101-150, cuyos efectos en la salud se observan en la tabla 1.

Tabla 1. Categoría de calidad para el AQI y sus efectos en la salud

Valores AQI	Descripción de la Calidad del Aire	Problemas para la Salud
0 a 50	Buena	La calidad del aire se considera satisfactoria y la contaminación atmosférica plantea poco o nada de riesgo.
51 a 100	Moderada	La calidad del aire es aceptable. Usualmente los individuos sensibles pueden experimentar efectos respiratorios debido al prolongado esfuerzo al aire libre, especialmente cuando es extraordinariamente sensitivo al ozono.
101 a 150	Inadecuada para grupos sensibles	Miembros de grupos sensibles pueden experimentar síntomas respiratorios (tos, dolor cuando se respira profundamente). Este nivel no presenta afecciones para el público en general.
151 a 200	Mala Peligrosa	Miembros de grupos sensibles tienen más posibilidades de experimentar síntomas respiratorios (tos y dolor agravados), y reducción de la función de los pulmones.
201 a 300	Pésima Muy Peligrosa	Miembros de grupos sensible experimentan síntomas respiratorios severos y respiración débil. Se debe usar una alarma para prevenir efectos en salud de toda la población, pues todos pueden presentar problemas serios.
301 y más	Crítica Peligrosa	Los valores son peligrosos, es muy probable que la población entera sea afectada. Miembros de grupos sensibles experimentan síntomas respiratorios severos y respiración débil.

Fuente: UPB, 2005.

En el informe “Sostenibilidad Ambiental de la conurbación del Valle de Aburrá”, se plantea que “el desarrollo armónico de la ciudad de Medellín, desde la perspectiva ambiental, seguirá atravesado por la problemática de la no sostenibilidad y el deterioro ambiental”. Se plantea en el informe la pérdida del bienestar de la población como consecuencia de las diferentes contaminaciones (en agua, aire, suelo), la pérdida de ecosistemas estratégicos y el avance desmesurado de la urbanización. (Contraloría Municipal de Medellín, 2005)

En el informe se define claramente que la problemática debe ser abordada desde la concepción de “ciudad - región, tomando el área metropolitana como una unidad integral”. En el mismo informe se describe un compendio de indicadores ambientales, principalmente para Medellín, en el cual se destaca para el indicador “Morbilidad por infección respiratoria aguda” en el periodo 1999 - 2004, un aumento en el número de casos en los años 2003 y 2004 “lo que indica que la contaminación atmosférica está afectando el bienestar de la población”. Igualmente se plantea que la Secretaría Municipal de Salud de Medellín reportó un incremento en el 2003 de 5.5 veces y en el 2004, de 3.4 veces el número de consultas relacionadas con afecciones respiratorias, en comparación con las reportadas en el año 1999.

Marco normativo colombiano

La contaminación atmosférica en Colombia comenzó a ser regulada a partir del Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables en 1974, con éste Decreto – Ley se consideró por primera vez en el país a la atmósfera y al espacio aéreo nacional como recursos naturales renovables. Para 1982 se expidió el Decreto 02 y para 1983 el Decreto 2206, ambos sobre emisiones atmosféricas.

En el año de 1991 el país elabora la nueva Constitución Política Nacional, llamada por algunos “constitución verde” por tener más de 70 artículos relacionados con los deberes y derechos del Estado y del pueblo colombiano en materia ambiental, fundamentalmente basados en el desarrollo sostenible del país.

Con la Ley 99 de 1993 se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y se dictan otras disposiciones en materia ambiental. Para el año 1995 se expide el Decreto 948 donde se define el marco de las acciones y los mecanismos administrativos de que disponen las autoridades ambientales para mejorar y preservar la calidad del aire y evitar el deterioro del medio ambiente, los recursos naturales y la salud humana, ocasionados por la contaminación atmosférica.

En el 2006 el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial expidió la resolución No. 601 del 4 de abril, por la cual se establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión para todo el territorio nacional en condiciones de referencia (25ºC y 1 atm. de presión), en el artículo 4 se detallan los niveles máximos permisibles para los contaminantes criterio. Colombia recientemente fijó su norma en 70 µg/m^3, a diferencia de los otros países que han adoptado su norma en 50 µg/m^3 (tabla 2).

Tabla 2. Concentraciones permitidas de los contaminantes atmosféricos para Colombia

Contaminante	Unidad	Límite permisible	Tiempo de exposición
PST	µg/m^3	100	Anual
		300	24 horas
PM_{10}	µg/m^3	70	Anual
		150	24 horas
SO_2	ppm (µg/m^3)	0.031 (80)	Anual
		0.096 (250)	24 horas
		0.287 (750)	3 horas
NO_2	ppm (µg/m^3)	0.053 (100)	Anual
		0.08 (150)	24 horas
		0.106 (200)	1 hora
O_3	ppm (µg/m^3)	0.041 (80)	8 horas
		0.061 (120)	1 hora
CO	ppm (µg/m^3)	8.8 (10)	8 horas
		35 (40)	1 hora

Fuente: Resolución 601 del 4 de abril de 2006

objetivos

OBJETIVOS

General

Realizar un diagnóstico de la situación atmosférica en la ciudad de Medellín y su área metropolitana**.**

Específicos

1. Describir los aspectos sociodemográficos de Medellín y los municipios que conforman el área metropolitana.
2. Describir el comportamiento de la contaminación por material particulado en el transcurso de las 24 horas del día.
3. Describir el comportamiento de la contaminación por Ozono (O_3) en el transcurso de las 24 horas del día.
4. Describir el comportamiento de la contaminación por material particulado durante los siete (7) días de la semana.
5. Describir la tendencia de la concentración de los diversos contaminantes atmosféricos en Medellín y su área metropolitana.
6. Describir el comportamiento de la contaminación por material particulado durante los doce (12) meses del año.
7. Describir los niveles de la contaminación atmosférica por partículas en suspensión total (PST).
8. Describir los niveles de la contaminación atmosférica por partículas respirables (PM_{10}).
9. Describir los niveles de la contaminación atmosférica por Óxidos de Nitrógeno (NO_x).
10. Describir los niveles de la contaminación atmosférica por Óxidos de Azufre (SO_x).
11. Describir los niveles de la contaminación atmosférica por Monóxido de Carbono (CO).
12. Describir los niveles de la contaminación atmosférica por Ozono (O_3).

métodos

MÉTODOS

Tipo de estudio

Estudio descriptivo longitudinal que explora el comportamiento de los contaminantes atmosféricos a lo largo de los últimos años en Medellín y su área metropolitana, así como sus variaciones cíclicas diarias, semanales y anuales.

Variables

Se estudian los contaminantes primarios básicos en la atmósfera generados por procesos erosivos y por la combustión de elementos fósiles. El material particulado, tanto en forma de partículas totales en suspensión (PST) como en partículas respirables de menor tamaño (PM_{10}). Se revisa el comportamiento de tres gases involucrados 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 (O_3) se describe en sus variaciones temporales de concentración.

Datos

El comportamiento de los diferentes contaminantes medidos en la región metropolitana del Valle de Aburrá, se estudia con base en los datos primarios recolectados por la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá. Los resultados obtenidos son analizados por los investigadores, teniendo en cuenta elementos como los requisitos normativos colombianos y metodologías existentes para asegurar la calidad de los datos.

En relación con cada uno de los contaminantes estudiados PST, PM_{10}, NO_2, SO_2, CO y O_3, se identifica el comportamiento por zonas geográficas, tendencias anuales, semanales y, de acuerdo con la disponibilidad de los datos, se estudia el perfil del ciclo diario.

Se incluyen todos los registros existentes para el análisis de cada uno de los contaminantes a fin de tener la más alta cobertura posible del período reciente de recolección de datos en el área metropolitana. Para estudiar las tendencias semanales se separan los registros por cada día de la semana en el periodo comprendido entre los años 2001-2005 primer semestre, y se analizan los

promedios geométricos en concentraciones de PST, y aritméticos para el resto de los contaminantes.

En el caso de las PST, donde se hace un análisis para identificar posibles relaciones entre los datos reportados en las estaciones ubicadas a lo largo de la región metropolitana, se toman los datos de mayor y menor concentración en cada una de las estaciones y se analizan los datos año a año.

Análisis estadístico

No se tienen registros diarios de PST en las estaciones del Valle de Aburrá. En el mejor de los casos se tienen datos de cada tres días, y hay largos períodos de tiempo sin registros. Para realizar un análisis de series de tiempo es necesario que éstas estén completas.

Las series de tiempo para los distintos contaminantes se grafican y se exploran con técnicas de suavización exponencial para promedios móviles con rangos de 3, 6 y 12 mediciones, y se exploran pronósticos preliminares de tendencia lineal sobre el criterio de mínimos cuadrados en el abordaje paramétrico de regresión.

Para el material particulado se seleccionan las series de datos que mayor consistencia y continuidad presentan entre todas las estaciones que hacen monitoreo. Las estaciones de las Universidades son las que registran mejores características de regularidad. La serie del Politécnico Jaime Isaza Cadavid nos resulta la mejor opción como indicador promedio de las estaciones centrales situadas en el valle del río Medellín.

Inicialmente se realiza un análisis exploratorio de los datos. Se observan los gráficos de medias de PST de acuerdo con el día de la semana, mes y año. Estos gráficos indican que cada uno de estos factores tiene un efecto en los valores de PST. A continuación se realiza un análisis de varianza de una sola vía donde la variable respuesta es PST y los factores son día de la semana y mes. Estos análisis indican que estos factores son significativos. Se realiza también regresión lineal simple de PST contra día y se encuentra que los coeficientes de la regresión y el modelo son significativos. La estrategia es entonces imputar datos a la serie de PST prediciendo valores para ésta a partir de un modelo lineal generalizado donde se tienen como factores categóricos día de la semana y mes, y como variable cuantitativa día.

La serie temporal de material particulado se modela por regresión múltiple para explorar los factores más significativos que influyen en su variación. Se analizan componentes cíclicos, factores estacionales, líneas de tendencia y se dimensiona el componente aleatorio residual. Una vez se tiene la serie de PST completa, con

registros diarios, se procede a aplicar el análisis de series de tiempo para revisar las componentes de tendencia, estacionalidad y componente auto regresiva. Esta serie así modelada será la base para establecer relaciones entre las series de contaminantes y los resultados en morbilidad y mortalidad.

resultados

RESULTADOS

Variables sociodemográficas

A continuación se muestran las convenciones utilizadas para identificar cada uno de los municipios en un orden geográfico de sur a norte (tabla 3).

Tabla 3. Convenciones utilizadas para la identificación de municipios del área metropolitana del Valle de Aburrá

Municipio	Convención
Caldas	CAL
Sabaneta	SAB
La Estrella	EST
Envigado	ENV
Itagüí	ITA
Medellín	MED
Bello	BEL
Copacabana	COP
Girardota	GIR
Barbosa	BAR

El municipio con mayor población es Medellín, con aproximadamente 2'100.000 habitantes y el de menor es Barbosa con 39.000. Si se analiza la composición urbano – rural se observa como Bello, Envigado, Itagüí y Medellín se caracterizan por tener la mayor parte de la población en sus zonas urbanas, en comparación con Girardota y Barbosa, municipios un poco más alejados de la zona central del área metropolitana del Valle de Aburrá (tabla 4).

Tabla 4. Población AMVA x 1000 Hab. (2005)

Municipio	Pob total	Urbana	% urb.	Rural	% rur
Caldas	74,2	65,6	88,4	8,5	11,5
Sabaneta	41,2	34,2	83,0	7,0	17,0
Estrella	57,2	49,4	86,4	7,7	13,5
Envigado	175,0	163,5	93,4	11,5	6,6
Itagüí	288,2	282,6	98,1	5,5	1,9
Medellín	2.093,6	2.002,1	95,6	91,4	4,4
Bello	400,2	393,5	98,3	6,7	1,7
Copacabana	57,1	48,9	85,6	8,1	14,2
Girardota	40,4	23,8	58,9	16,5	40,8
Barbosa	39,0	16,7	42,8	22,3	57,2

Fuente: Anuario Estadístico Departamental de Antioquia. http://www.antioquia.gov.co/

Otro factor de análisis en el componente sociodemográfico es la extensión de los municipios ya que esto influye sobre la densidad de edificaciones y personas que ocupan el territorio y de alguna manera, se relaciona con la dispersión de los contaminantes atmosféricos (tabla 5).

Tabla 5. Extensión municipios del AMVA (Km^2)

Municipio	ext. total (km^2)	ext. urb. (km^2)	% ext. urb	ext. rur. (km^2)	% ext. rur.	razón ext. rur/urb.
Caldas	150	1,7	1,1	148,3	98,9	87,2
Sabaneta	15	2,3	15,3	12,7	84,7	5,5
Estrella	35	3,2	9,1	31,8	90,9	9,9
Envigado	50	11,4	22,8	38,6	77,2	3,4
Itagüí	17	9,9	58,2	7,1	41,8	0,7
Medellín	382	110,9	29,0	271,1	71,0	2,4
Bello	149	13,6	9,1	135,4	90,9	10,0
Copacabana	70	4,8	6,9	62,2	88,9	13,0
Girardota	78	5,3	6,8	72,7	93,2	13,7
Barbosa	206	1,6	0,8	204,4	99,2	127,8

Fuente: Anuario Estadístico Departamental de Antioquia. http://www.antioquia.gov.co

Medellín es el municipio más extenso (382 Km^2), seguido de Barbosa (206 Km^2), cabe aclarar que de acuerdo con los resultados anteriores, la población del primero se concentra en su mayoría en la zona urbana y en el segundo, por el contrario, en la zona rural.

Sabaneta es el municipio más pequeño con 15 km^2, este se caracteriza en la actualidad por ser una zona de expansión para los habitantes de la región metropolitana, pues allí se están edificando gran cantidad de viviendas en altura, lo que podrá traer como resultado un incremento en el grado de contaminación por el aumento en el número de vehículos, debido a que estas viviendas, nuevas en su mayoría, son para estratos altos.

De otro lado, Caldas y Barbosa se ubican en los extremos sur y norte respectivamente, sus extensiones son principalmente rurales en comparación con Itagüí, que es el único que tiene mayor extensión urbana que rural.

Por último, en el aspecto sociodemográfico se analiza la densidad poblacional, elemento importante y significativo para analizar los valores de contaminantes atmosféricos, sobre todo en zonas industriales o vías de alto tráfico vehicular (tabla 6).

Itagüí es el municipio que en el AMVA tiene una mayor densidad poblacional (16.396 habitantes/km^2), está ubicado centralmente en la región metropolitana y tiene amplios sectores industriales, esto último es a la vez una fuente de empleo para la población, pero contribuye a la emisión de contaminantes a la atmósfera a partir de fuentes fijas.

Tabla 6. Densidad municipios del AMVA (hab/km^2)

Municipio	Dens. (hab/Km^2)
Caldas	483
Sabaneta	2.679
Estrella	1.593
Envigado	3.401
Itagüí	16.396
Medellín	5.422
Bello	2.618
Copacabana	808
Girardota	307
Barbosa	188

Fuente: Anuario Estadístico Departamental de Antioquia.
http://www.antioquia.gov.co

Al comparar la densidad urbana y rural, Caldas y Bello son los municipios que mayor número de habitantes tienen en la zona urbana por kilómetro cuadrado, Girardota por el contrario es el que menor tiene. En la zona rural, Itagüí y Sabaneta son los municipios que presentan mayor densidad poblacional (tabla 7).

Tabla 7. Densidad poblacional urbana y rural de los municipios del AMVA

Municipio	dens. pob. urb. (hab/Ha)	dens. pob. rur. (hab/Ha)
Caldas	376,5	0,6
Sabaneta	144,3	5,4
Estrella	150,0	2,4
Envigado	139,1	2,9
Itagüí	275,9	7,9
Medellín	178,4	3,4
Bello	281,7	0,5
Copacabana	100,6	1,3
Girardota	43,8	2,2
Barbosa	102,5	1,1

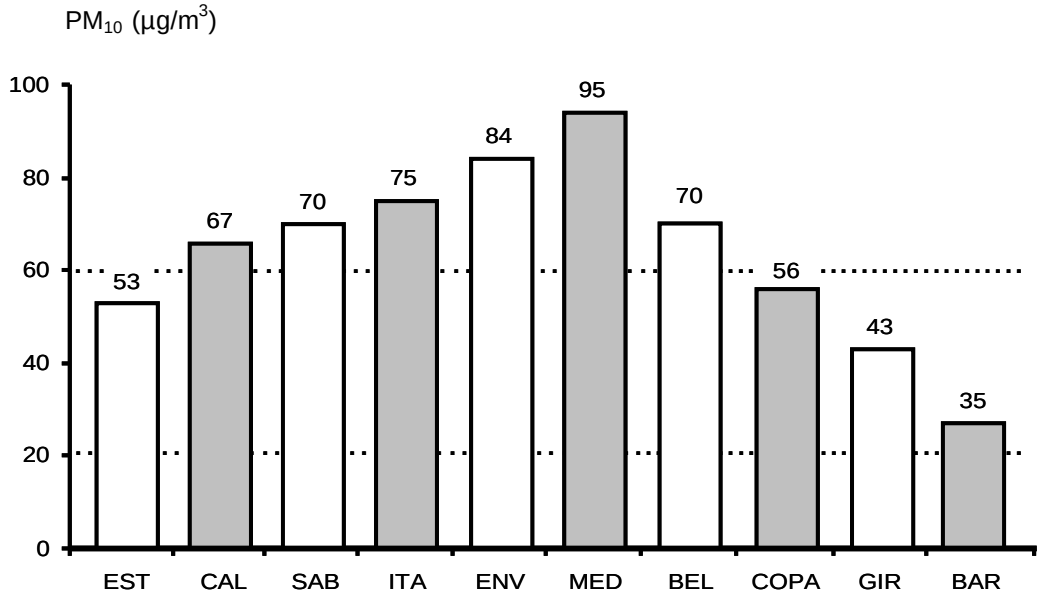
Fuente: Anuario Estadístico Departamental de Antioquia.
http://www.antioquia.gov.co

Gradiente por densidad

La cantidad de contaminantes varía según la densidad de fuentes presentes en un lugar dado y en un tiempo dado, lo cual a su vez es reflejo de la densidad poblacional, urbanística y de vehículos automotores que circulan por los distintos municipios del área metropolitana.

Las concentraciones de material particulado (PST y PM_{10}) son, en general, más altas en los municipios centrales del Valle de Aburrá los cuales son también más populosos (Medellín, Envigado, Itagüí y Bello) y son gradualmente más bajas a medida que los municipios se ubican más periféricamente, en áreas con menor densidad poblacional y urbanística (La Estrella, Caldas, Barbosa).

Los promedios diarios para PST varían desde 50 µg/m^3 en localidades periféricas, hasta 140 µg/m^3 en áreas urbanas de Medellín. Para PM_{10} se tienen variaciones similares con el valor más bajo en la localidad más alejada hacia el Norte (35 µg/m^3) hasta valores cercanos a 100 µg/m^3 en los municipios más urbanizados ubicados en el centro del Valle de Aburrá.



Los niveles de PM_{10} medidos a la altura de las personas y en lugares públicos a los cuales ellas acceden regularmente muestran niveles promedios que varían entre 35 y 94 µg/m^3 para los diferentes municipios del área metropolitana. La concentración de material particulado respirable es en general más alta en la región central del Valle de Aburrá, donde está la mayor densidad urbanística y poblacional. Los niveles de PM_{10} son más bajos en los municipios más alejados, en los extremos norte y sur del Valle de Aburrá, tal como Barbosa, Girardota, Copacabana, La Estrella y Caldas. Los municipios del sur tienen niveles de contaminación más altos que los municipios del norte.

Gradiente por distancia Registrador – Fuente

Para establecer la influencia de la distancia a la cual está ubicado el receptor y registrador del material contaminante en relación con las fuentes de emisión, realizamos diversos experimentos, con alturas y alejamientos horizontales variables.

La concentración promedio diaria de material particulado disminuye al aumentar la distancia existente entre el dispositivo de alto volumen (Hi-vol) y la vía más cercana por donde circulan los vehículos. (tabla 8)

Tabla 8. Mediciones de material particulado con distancias variables desde el registrador (Hi Vol) hasta las vías transitadas por vehículos automotores

Punto	Fecha	Código	P ("H_2O)			Q	Filtro	Tiempo de muestreo	Peso filtro (gr)		Concentración PST
		Hi-Vol	Inicial	Final	prom	(m^3/min)	Nº	(min)	Inicial	Final	(µg/m^3)
Portería	26-04-06	1	4,30	1,10	2,70	0,7574	1	720	2,70433	2,92933	413
4piso SIU	26-04-06	2	7,30	4,60	5,95	1,2010	4	720	2,70745	2,80364	159
7 piso SIU	26-04-06	3	8,30	6,20	7,25	1,4499	3	720	2,70371	2,82265	114
8 piso SIU	26-04-06	4	7,10	5,80	6,45	1,4825	2	720	2,71112	2,82575	107

Punto	Fecha	Código	P ("H_2O)			Q	Filtro	Tiempo de muestreo	Peso filtro (gr)		Concentración PST
		Hi-Vol	Inicial	Final	prom	(m^3/min)	Nº	(min)	Inicial	Final	(µg/m^3)
Portería	27-04-06	1	3,40	1,20	2,30	0,6435	11	720	2,70424	2,94382	517
4piso SIU	27-04-06	2	6,90	5,90	6,40	1,2770	10	720	2,72725	2,82623	154
7 piso SIU	27-04-06	4	7,80	6,70	7,25	1,6218	13	720	2,70553	2,85034	124
8 piso SIU	27-04-06	3	9,30	7,00	8,15	1,5706	12	720	2,72974	2,85397	110

Punto	Fecha	Código	P ("H_2O)			Q	Filtro	Tiempo de muestreo	Peso filtro (gr)		Concentración PST
		Hi-Vol	Inicial	Final	prom	(m^3/min)	Nº	(min)	Inicial	Final	(µg/m^3)
Portería	28-04-06	1	3,60	1,50	2,55	0,7147	9	720	2,69728	2,95283	497
4piso SIU	28-04-06	2	7,30	5,90	6,60	1,3107	8	720	2,70469	2,79885	143
7 piso SIU	28-04-06	3	8,80	7,00	7,90	1,5371	7	720	2,70569	2,84830	129
8 piso SIU	28-04-06	4	8,50	7,10	7,80	1,7176	6	720	2,69564	2,84650	122

Las concentraciones de partículas en suspensión total ubicadas a las distancias habituales que utiliza la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá, efectivamente registran valores cercanos a 100 µg/m^3 (80-160 m y encima de edificaciones) tal y como se observa en la mayoría de los promedios que se reportan para el área central de Medellín y a lo largo de la vía de la autopista en la región central de Medellín, Itagüí, Envigado, Sabaneta y Bello.

Las concentraciones de material particulado son más altas a medida que se ubican más cerca de la calle, es decir, más próximas a las fuentes móviles. Los valores ascienden con la proximidad de los vehículos a niveles de 150, 200 y hasta 400 y 500 µg/m^3 en la ubicación más cercana, es decir en las aceras a la altura de los transeúntes.

Las concentraciones registradas en las cercanías de las fuentes móviles, donde ocurren un gran número de actividades humanas, pueden ser hasta 4 y 5 veces más altas que las que se obtienen encima de los edificios que circundan las calles transitadas por los vehículos automotores, que son las que habitualmente se utilizan para el monitoreo ambiental de la calidad del aire.

Los niveles de concentración medidos justamente donde las personas viven y trabajan y el tiempo que ellas permanecen en los lugares que registran altos niveles de contaminación atmosférica son variables esenciales en la estimación de la exposición real que la comunidad experimenta a los factores irritativos depositados en el aire que se respira.

Reproducibilidad

Las replicaciones de las pruebas en el mismo lugar y con los mismos criterios de medición en relación con tiempos, flujos aéreos, temperatura, humedad, instrumentos, filtros, pesaje analítico, etc, muestran una cercanía muy satisfactoria con variaciones en las concentraciones replicadas del orden de 2% (tabla 9).

Tabla 9. Replicaciones de la determinación de Material Particulado PST.

Equipo	Peso inicial	Peso final	Diferencia	Concentración
HV2	2.67984	3.01482	0.33498	396
HV3	2.72349	3.05743	0.33394	386
HV4	2.70446	3.02137	0.32691	385
Blanco	4.36436	4.36466	0.00030	000

La diferencia de peso en los filtros y la concentración de material particulado en las pruebas repetidas para un mismo lugar, permiten confirmar que la reproducibilidad del método es buena cuando se mantienen constantes todas las variables influyentes.

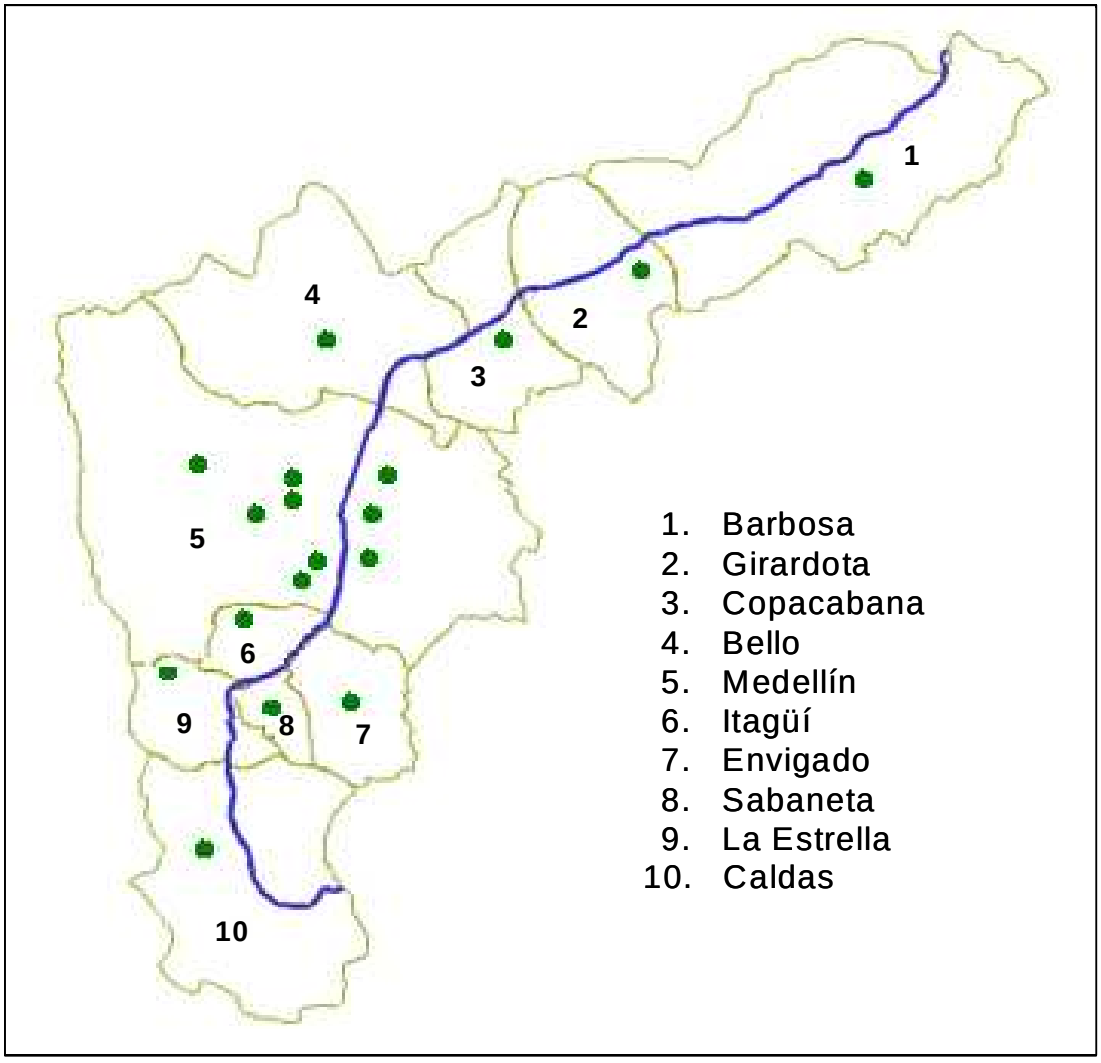
Diagnóstico Ambiental

La identificación de las estaciones ubicadas en los diferentes municipios (ver mapa) se hizo de igual forma que para los otros diagnósticos (socioeconómico y de salud), pero debido a que en Medellín y Girardota hay varios sitios de medición de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá, se incluyen las convenciones utilizadas por esta institución (tabla 10).

Tabla 10. Convenciones Estaciones de Monitoreo de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá

Estación	Convención
Caldas	CAL
Sabaneta	SAB
La Estrella	EST
Envigado	ENV
Itagüí	ITA
Centro de Medellín, Edificio Miguel de Aguinaga	AGUI
Guayabal 1	GUAY
Corantioquia	CORA
Politécnico Jaime Isaza Cadavid	POLI
Universidad de Antioquia	UDEA
Universidad de Medellín	UDEM
Universidad Nacional	UNAL
Universidad Pontificia Bolivariana	UPB
Bello	BEL
Copacabana	COP
Municipio de Girardota, Liceo Manuel José Sierra	GI-LI
Municipio de Girardota 2, Unidad de servicios Comfama	GI-CO
Barbosa	BAR

Para analizar el comportamiento de cada uno de los contaminantes atmosféricos (PST, PM_{10}, NO_x, SO_x y O_3), se tomaron los datos reportados en los boletines de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá a partir del año 2000, época en la cual la red inició nuevamente operaciones, luego de pasar por un período de suspensión; esto como primer componente del análisis de la posible relación que tienen dichos contaminantes con los efectos en la salud.



Mapa. Ubicación de las estaciones de monitoreo de contaminantes atmosféricos en el Área Metropolitana.

Ciclo Diario

La concentración de los contaminantes que se vierten a la atmósfera no es constante a lo largo de las 24 horas del día. Cuando se mide hora a hora la contaminación es posible identificar que durante las primeras horas de la mañana los niveles son los más bajos del día, los niveles aumentan notablemente entre las 6 y las 9 am, luego descienden a niveles intermedios en las horas del mediodía y principios de la tarde, para ascender nuevamente entre las 5 y las 8 pm, tras lo cual vuelven a descender para las últimas horas de la noche.

Esta imagen en "lomo de camello" con dos jibas, al inicio de la jornada matinal y al final de la jornada vespertina, se repite en forma sistemática y es visible cuando el monitoreo de los contaminantes primarios se hace en tiempo real. (gráfico 1A)

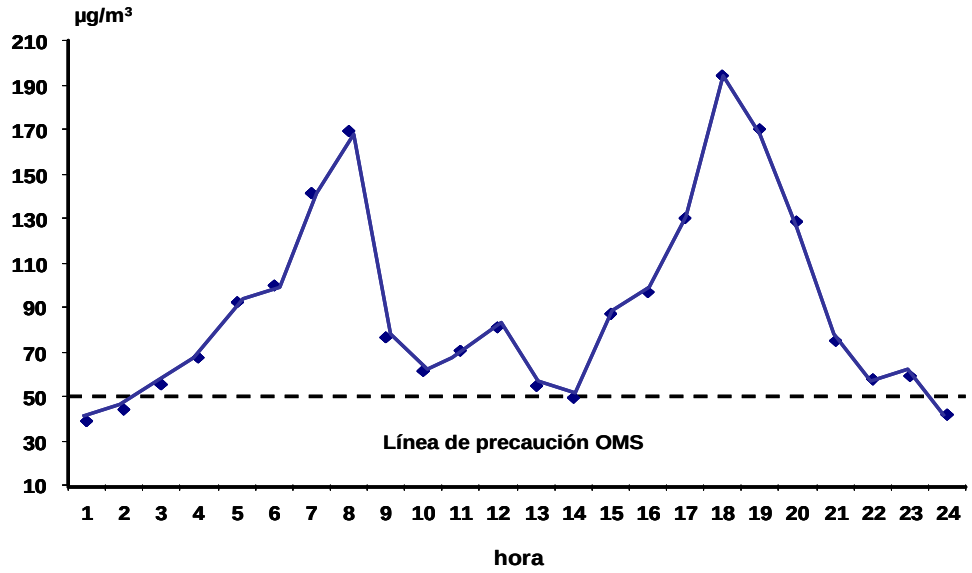


Gráfico 1A. Valores horarios alcanzados de PM_{10}, en un dia de semana

Para el material particulado respirable (PM_{10}) los valores basales en la mañana están alrededor de 40 µg/m^3 y ascienden durante los momentos más críticos a valores tan altos como 170 - 180 µg/m^3 en la mañana y hasta 200 - 210 µg/m^3 en la tarde.

De todos modos, a pesar de las oscilaciones de material particulado que ocurren en un día habitual en la atmósfera de Medellín y su área metropolitana, se puede observar que los niveles nunca descienden a cero y que se mantiene un nivel de base en la contaminación por material particulado de 70-80 µg/m^3 para PST y cerca de 50 µg/m^3 para PM_{10}.

El tránsito de vehículos automotores también registra un ciclo típico de “lomo de camello” de características prácticamente idénticas a las que muestra el material particulado. Se registran dos “picos” que efectivamente corresponden con la congestión vehicular que se registra los días laborales entre 6 y 9 am, cuando las personas se dirigen a sus ocupaciones y de nuevo se aumenta entre 5 – 8 pm, cuando las personas regresan a sus hogares. (gráfico 1B)

El ciclo es evidente tanto para los registros de desplazamientos en vehículos particulares como en el transporte público, se presenta en concordancia con la jornada laboral, que en nuestro medio ha evolucionado para evitar un desplazamiento adicional a mediodía, pero sin embargo algunas personas todavía conservan su rutina habitual.

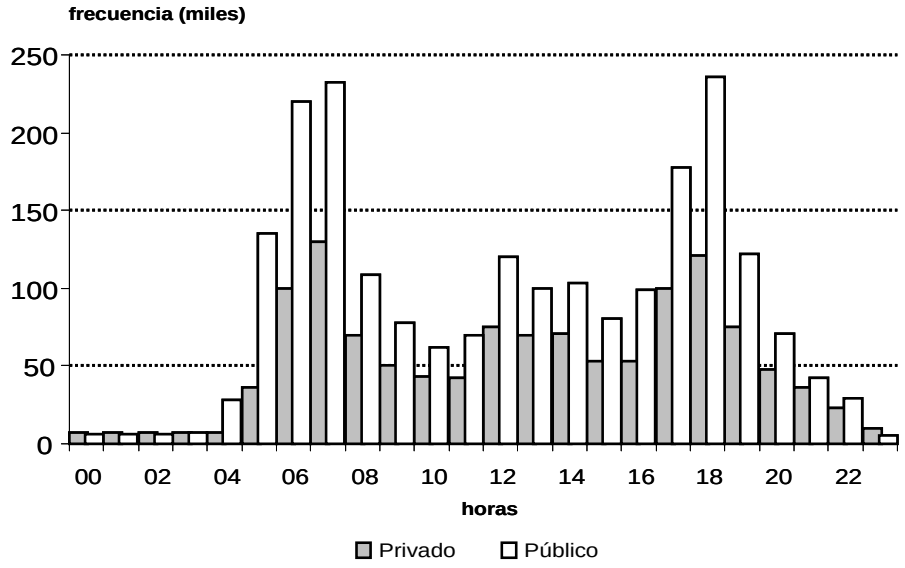


Gráfico 1B. Distribución del parque automotor público y privado durante las 24 horas del día (Sarmiento, 2006).

Los niveles horarios de material particulado respirable (PM_{10}) correlacionan con los diversos indicadores de tránsito vehicular. Con el número circulante de vehículos particulares R .76 R^2 .57 IC95% (.22, .79); con el tránsito global R .82 R^2 .68 IC95% (.38, .85) y con el número circulante de vehículos de servicio público R .84 R^2 .71 IC95% (.44, .87). (gráfico 1C)

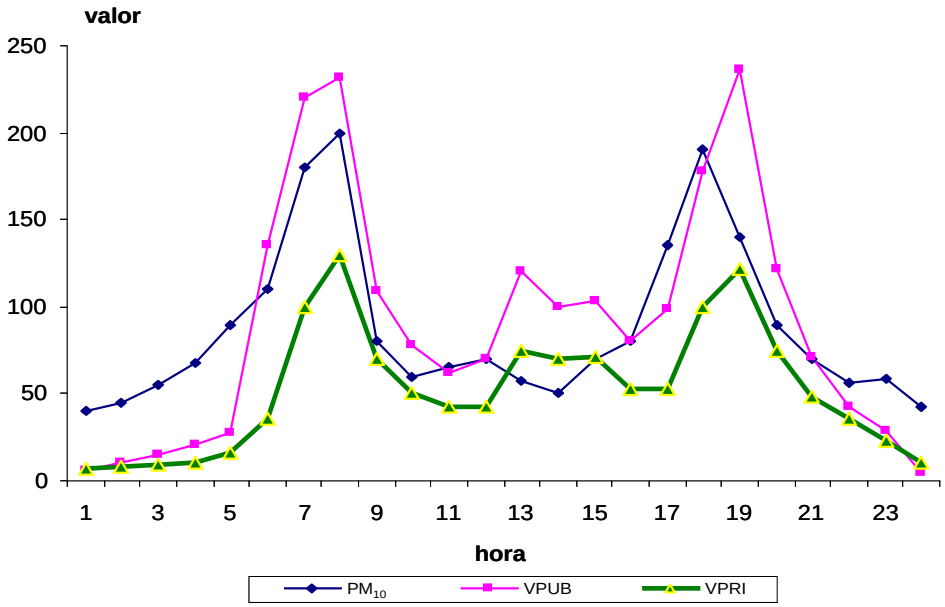


Gráfico 1C. Ciclo diario de PM_{10} y tránsito vehicular por vehículos de transporte público y privado. Medellín 2006

Hay correspondencia entre los diversos perfiles de los histogramas para describir la frecuencia de los vehículos circulantes durante el día, tanto para el transporte público como para el transporte privado y el respectivo histograma que describe la contaminación diaria por material particulado en tiempo real. (gráfico 1D)

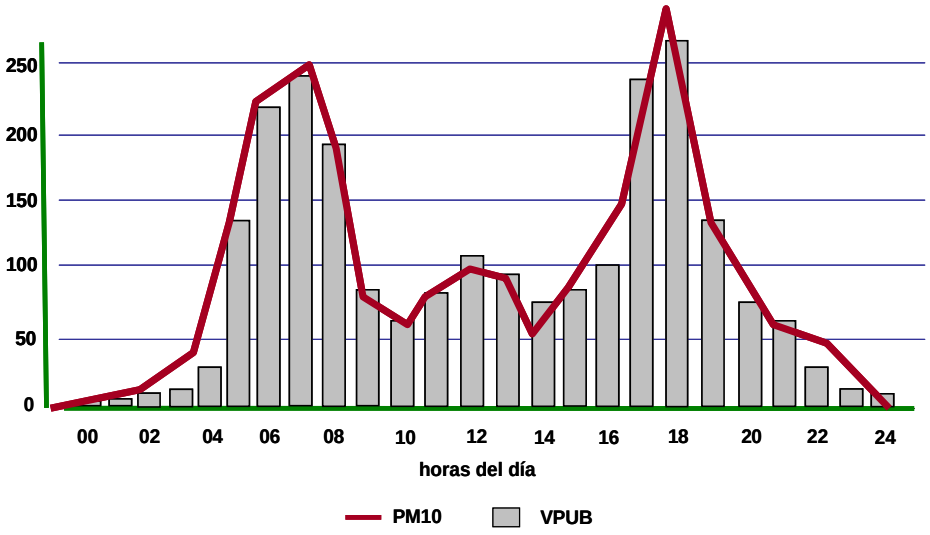


Gráfico 1D. Acoplamiento de los ciclos diarios de PM_{10} y tránsito vehicular de servicio público. Medellín 2006

Para el monóxido de carbono (CO) también es posible evidenciar una variación cíclica bimodal con mínimos alrededor de 5 ppm (partes por millón) y máximos de 15 - 18 ppm. (gráfico 1E)

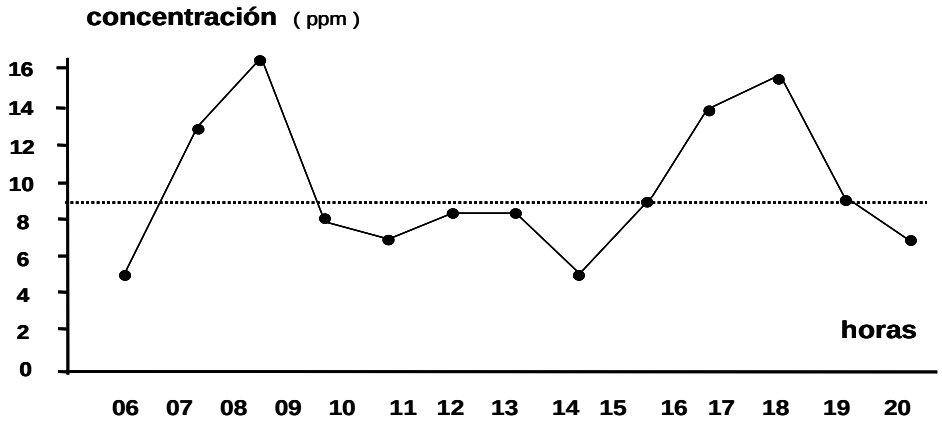


Gráfico 1E. Valores horarios de CO
Estación UDEA 2002 – 2006

Las variaciones horarias del ozono (O_3) describen un ciclo muy característico, pero en forma de "lomo de dromedario" con una sola jiba central que se registra al mediodía. Los valores basales están durante las horas de la mañana, en la tarde y la noche en valores bajos entre 3 – 5 ppb (partes por billón) y alcanza su valor más alto de 80 – 100 ppb entre las 12 m y las 2 pm con la máxima luminosidad del día. (gráfico 1F)

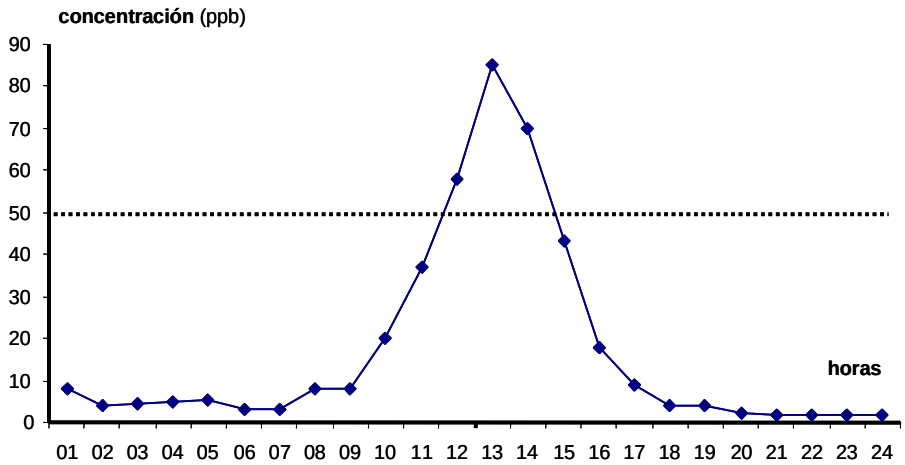
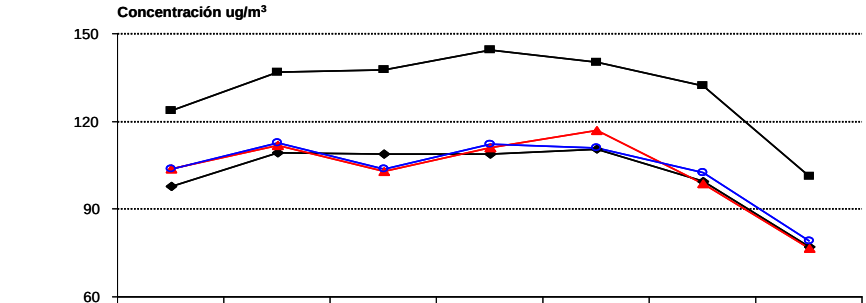


Gráfico 1F. Valores de Ozono (O_3) en las 24 horas del día

Ciclo Semanal

La concentración de contaminantes no es igual para todos los días de la semana. Los valores son altos y bastante similares para los días laborales entre lunes y viernes, son intermedios para los sábados y son sistemáticamente más bajos en los días festivos y domingos.

Las partículas totales en suspensión (PST) presentan niveles promedio de 80 µg/m^3 para días "limpios" los domingos y festivos, los valores en sábado alcanzan 90 - 100 µg/m^3 y en días laborales de semana ascienden a promedios por encima de 110 µg/m^3. (gráfico 2A)

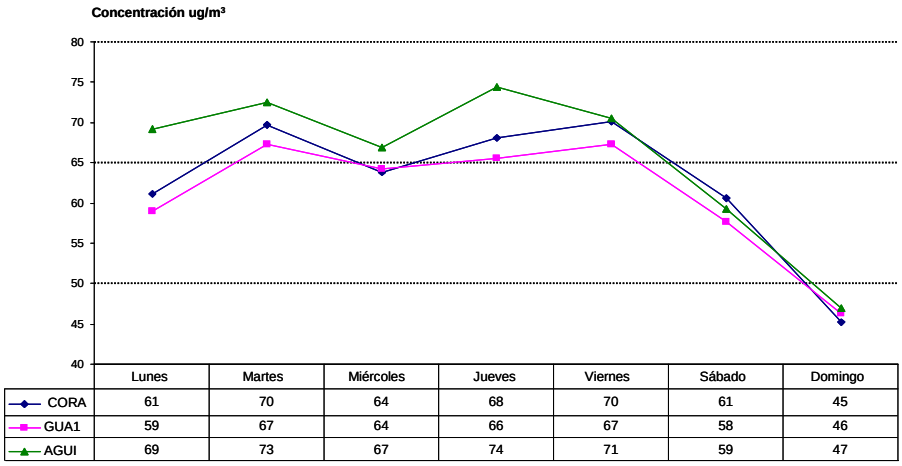


	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
POLI	98	109	109	109	111	99	77
UNAL	124	137	138	144	140	132	101
GUA1	104	112	103	111	117	99	77
AGUI	104	112	104	112	111	102	79

Gráfico 2A. Variación del ciclo semanal del material particulado (PST) en las estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá. 2001 - 2005

Los lunes se registran promedios que parecen un poco más bajos que los demás días de la semana, pero esta diferencia está influenciada por la presencia de un buen número de datos más bajos que corresponde a los lunes compensatorios de fiesta que están regulados en la legislación laboral colombiana.

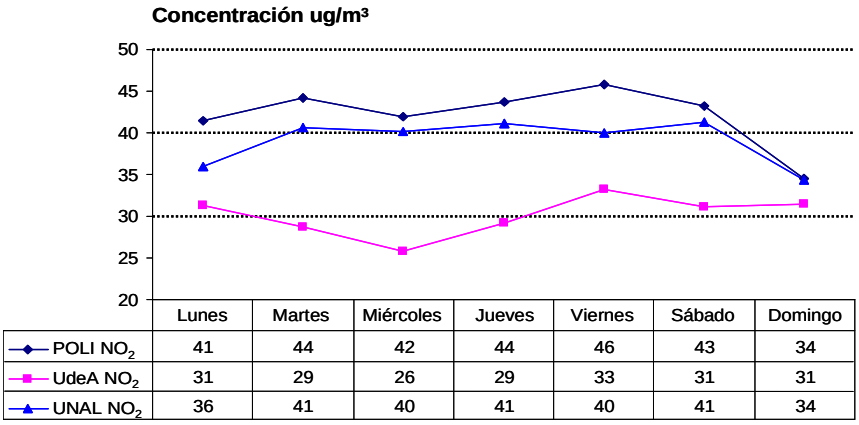
Las partículas respirables (PM_{10}) presentan un ciclo semanal idéntico en su perfil al ciclo de las PST. Los valores más bajos (30 - 50 µg/m^3) se registran domingos y festivos, y los valores más altos 60 – 80 µg/m^3 en los días laborales de la semana, con un discreto incremento para los días jueves y viernes. (gráfico 2B)



	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
CORA	61	70	64	68	70	61	45
GUA1	59	67	64	66	67	58	46
AGUI	69	73	67	74	71	59	47

Gráfico 2B. Variación del ciclo semanal del PM_{10} en las estaciones Corantioquia, Guayabal y Aguinaga. 2001 - 2005

Para los gases NO_x y SO_x, las concentraciones son un poco más variables e inestables, no obstante el perfil también reproduce el comportamiento del material particulado y se presenta en armonía, como es de esperarse, con la mayor densidad vehicular de los días laborales y la disminución del número de vehículos automotores circulantes en los días de descanso laboral, es decir, los domingos y festivos. (gráfico 2C)



	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
POLI NO_2	41	44	42	44	46	43	34
UdeA NO_2	31	29	26	29	33	31	31
UNAL NO_2	36	41	40	41	40	41	34

Gráfico 2C. Variación del ciclo semanal de NO_2 en las estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá. 2001 – 2005

Ciclo Anual

La contaminación atmosférica muestra un comportamiento cíclico a lo largo de los meses del año. La concentración de contaminantes es más baja al inicio del año, se eleva para alcanzar un pico en el mes de marzo y comienza a descender para mitad de año en los meses de junio y julio, se eleva de nuevo en el segundo semestre y alcanza sus valores más altos en octubre, para iniciar un descenso hasta los valores basales de diciembre y enero. (gráficos 3A y 3B)

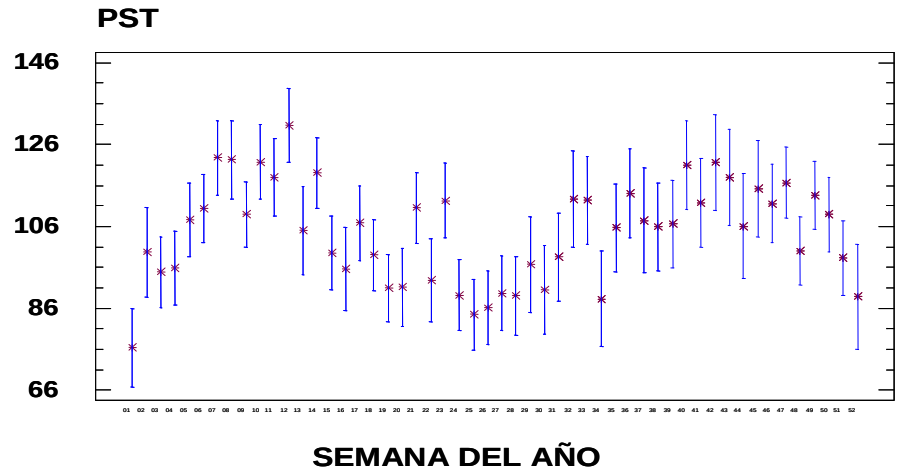
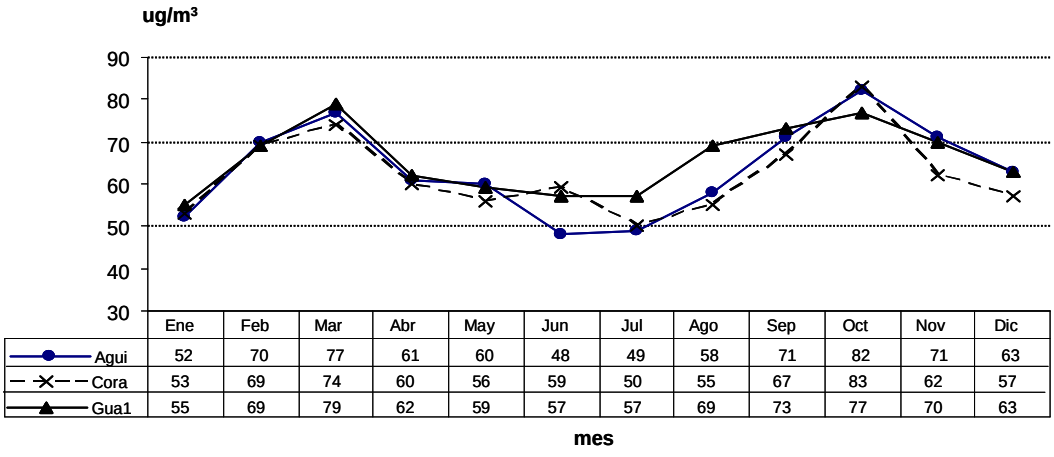


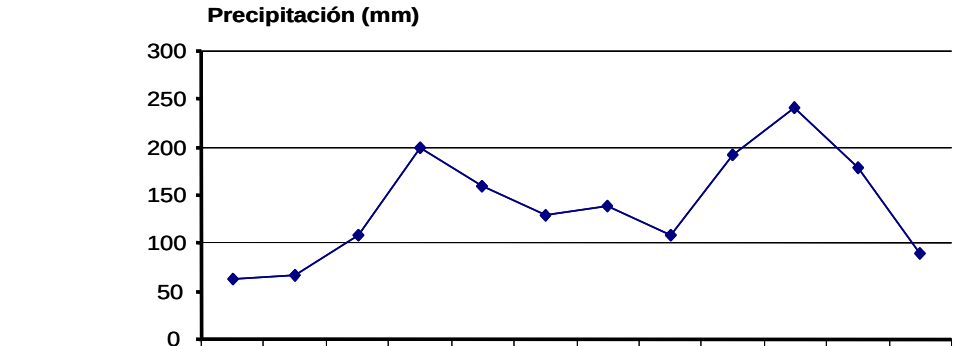
Gráfico 3A. Medias e intervalos de confianza del 95% del ciclo anual de PST. Estación Politécnico.



	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Agui	52	70	77	61	60	48	49	58	71	82	71	63
Cora	53	69	74	60	56	59	50	55	67	83	62	57
Gua1	55	69	79	62	59	57	57	69	73	77	70	63

Gráfico 3B. Variación del ciclo anual de PM_{10} en las estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá.

El ciclo estacional de lluvias transcurre en forma un tanto similar con los niveles de contaminación por material particulado, es decir, los valores tienden a ser más altos en épocas lluviosas y más bajos en épocas secas, si bien la concordancia no es total, especialmente en el primer semestre. (gráfico 3C)



	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Prom. Multianual 03 -05 (mm)	62,9	66,5	108,4	199,2	160,2	128,2	139,4	108,7	191,2	241,5	179,2	88,3

Gráfico 3C. Ciclo anual de lluvias en estación Aeropuerto Olaya Herrera.

El ciclo de contaminación atmosférica evoluciona en armonía con la densidad del tránsito vehicular, el cual también alcanza sus niveles más altos a mitad del primer y segundo semestre, y desciende notablemente en las épocas de vacaciones de mitad de año, navidad, año nuevo y semana santa.

El ciclo anual de contaminación atmosférica es en realidad la conjunción de dos ciclos asimétricos. Uno de 5 meses con pico máximo en marzo y uno de 7 meses con pico máximo en octubre, razón por la cual su concordancia con el ciclo estacional de lluvias no es completa.

Las vacaciones de semana santa suelen tener lugar en el mes de abril, por lo cual los niveles de contaminación del aire se reducen notablemente cuando muchas personas salen de la ciudad o disminuyen sus actividades laborales y sus desplazamientos en vehículos automotores de transporte público y privado, al menos en el sector urbano.

Tendencia

El comportamiento histórico de los contaminantes atmosféricos en Medellín y su área metropolitana muestra tendencias diversas. Algunos contaminantes han venido aumentando en los últimos años, otros muestran estacionalidad y otros evolucionan en un discreto descenso.

Las partículas en suspensión total (PST) muestran, más claramente en unas estaciones que en otras, como la concentración viene aumentando en los últimos años a razón de 3-5 µg/m^3 por año. La pendiente para los datos de la estación del Politécnico es B 4.02 IC95% (2.2 - 5.5) F 21.6 p .00. (gráfico 4A)

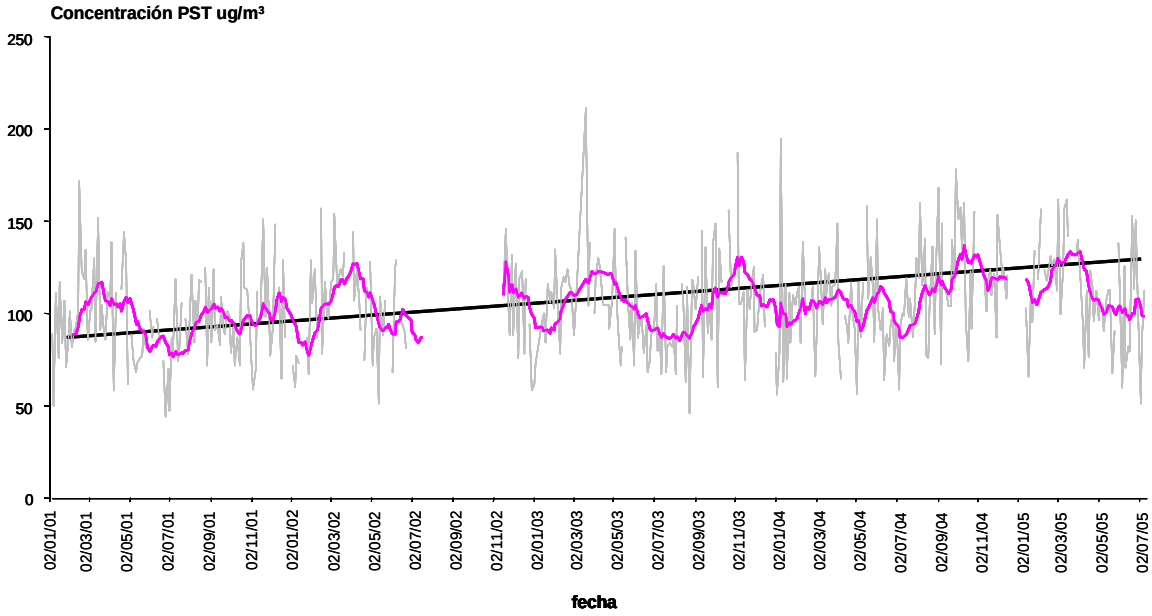


Gráfico 4A. Comportamiento de la contaminación por material particulado PST en la estación Politécnico. 2001 - 2005

Las partículas respirables (PM_{10}) también exhiben una tendencia al aumento en las series estudiadas para las estaciones de la región central del valle. El aumento ocurre a razón de 2 - 3 µg/m^3 por cada año. La pendiente para la serie de datos de la estación de Aguinaga es B 2.6 IC95% (.01 - 5.2) F 3.9 p .05. (gráfico 4B)

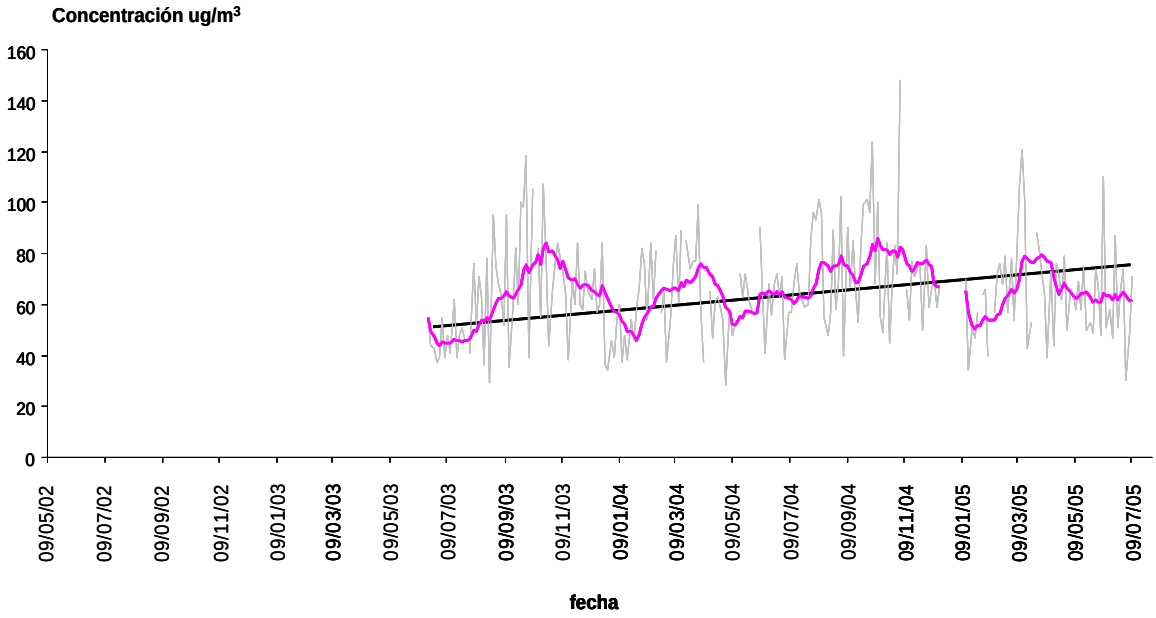


Gráfico 4B. Concentraciones promedio de PM_{10} en la estación Aguinaga. 2002 - 2005

Los Óxidos de Nitrógeno (NO_x) presentan una tendencia al aumento a razón de 4 – 8 µg/m^3 por año. La pendiente para la estación del Politécnico es B 7.8 IC95% (5.0 -10.6) F 28.5 p .00. (gráfico 4C)

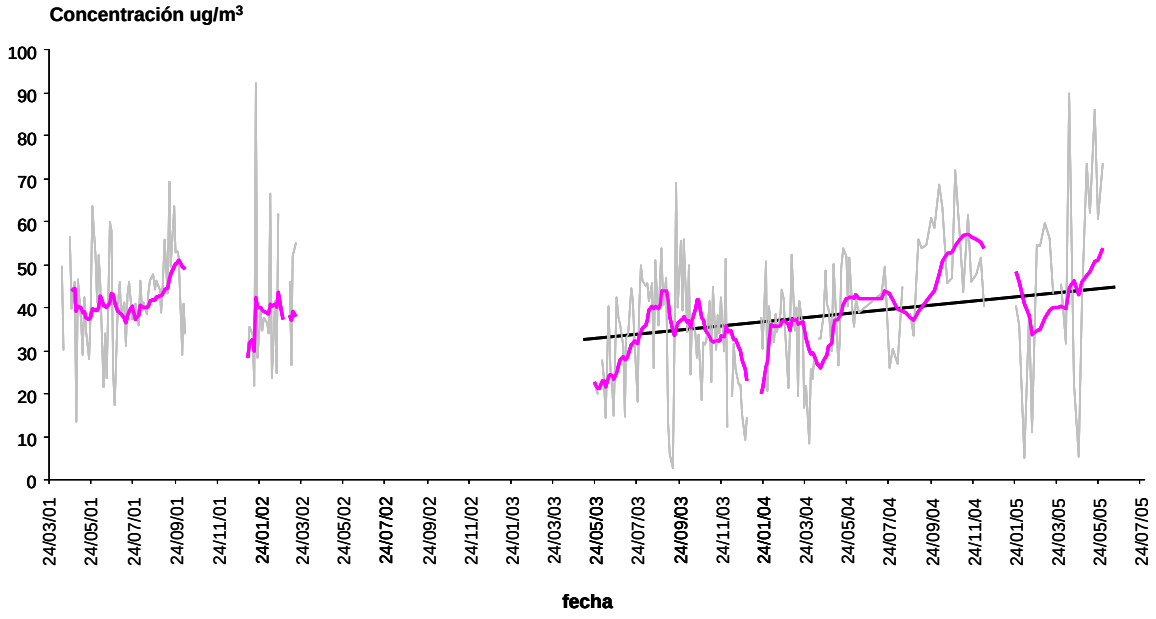


Gráfico 4C. Comportamiento de la contaminación por NO_2 en la estación Politécnico. 2001 - 2005

Los Óxidos de Azufre (SO_x) muestran una relativa estabilidad en los valores que las series de los últimos años permiten construir. Se insinúa en algunas estaciones una leve tendencia al descenso a razón de 1 – 2 µg/m^3 por año. La pendiente para los datos de la estación de Politécnico no es estadísticamente significativa B -2.56 IC95% (-5.8, .4) F 2.2 p .14. (gráfico 4D)

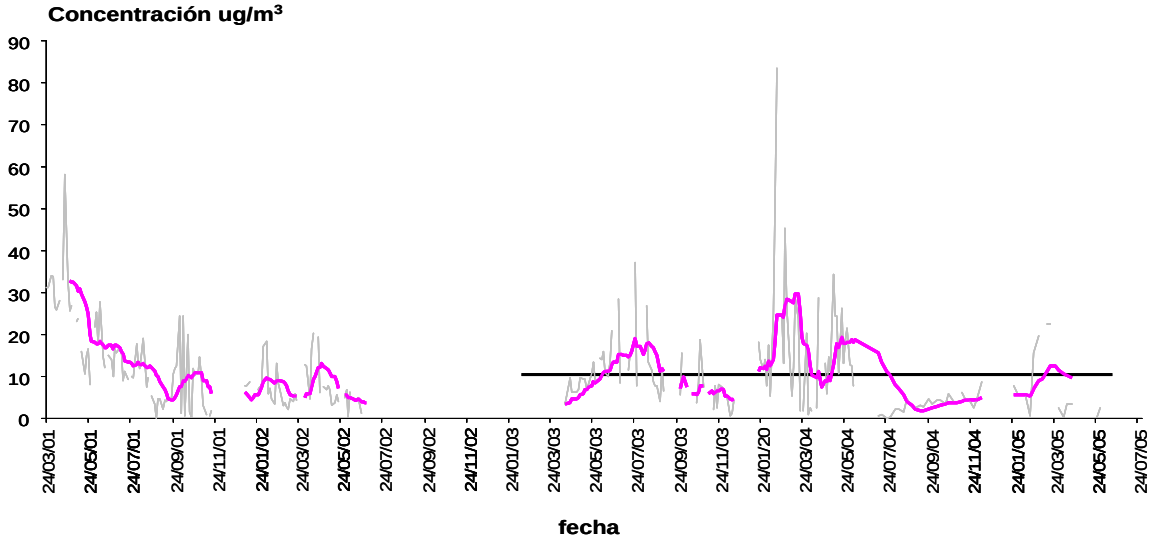


Gráfico 4D. Comportamiento de la contaminación por SO_2 en la estación Politécnico. 2001- 2005

El Monóxido de Carbono (CO) presenta una serie que comienza a mostrar un descenso muy discreto a razón de 1 – 2 ppm por año. La pendiente para los datos de la estación de Aguinaga es B -1.2 IC95% (-1.0, -1.4) F 185 p .00. (gráfico 4E)

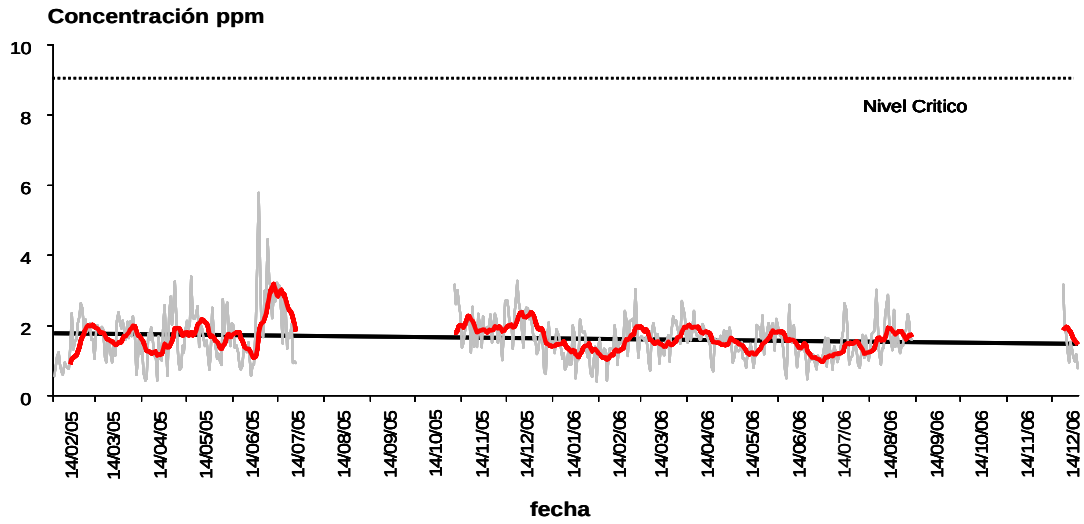


Gráfico 4E. Comportamiento de la concentración de CO en estación Aguinaga. 2005 - 2006

El Ozono (O_3) presenta series de valores bajos en concentración que muestran una definida tendencia al descenso, en lo referente a promedios por periodos horarios. La pendiente para los datos reportados por la estación de Guayabal es B -.3.3 IC95% (-2.9, -3.6) F 227 p .00. (gráfico 4F)

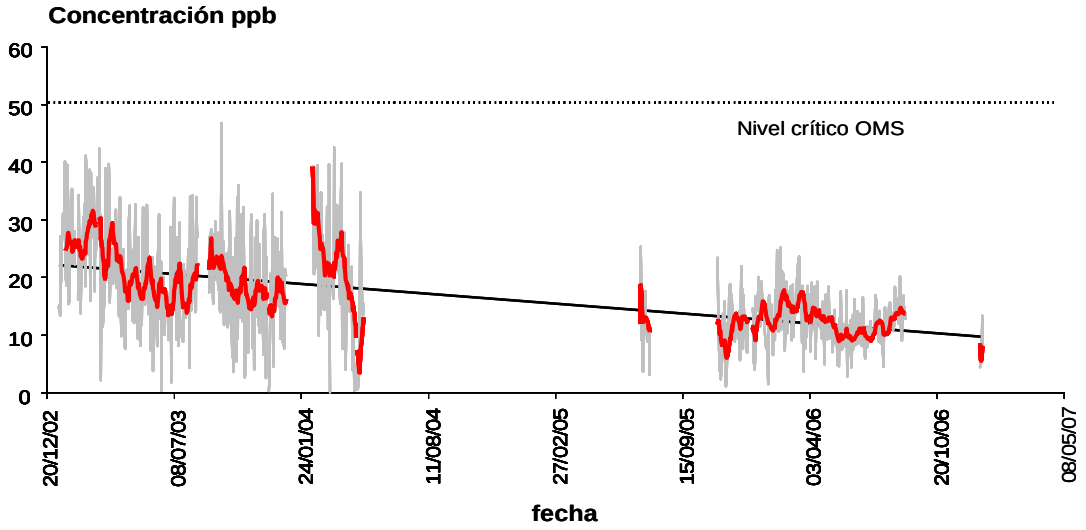


Gráfico 4F. Comportamiento de la concentración de O_3 en la estación Guayabal. 2002 - 2006

Las tendencias del incremento en el material particulado de Medellín y su área metropolitana varían en armonía con el incremento de factores que se asocian entre sí. La población aumenta a razón de 25000 personas por año. (gráfico 4G)

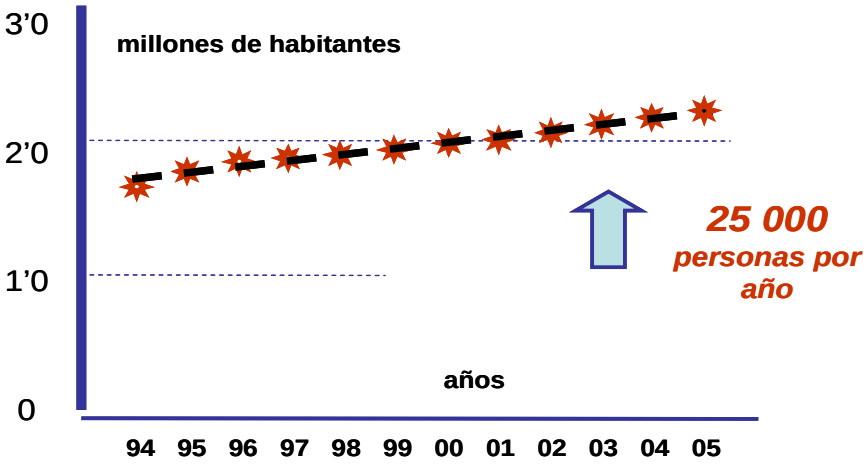


Gráfico 4G. Población de Medellín. 1994 - 2005

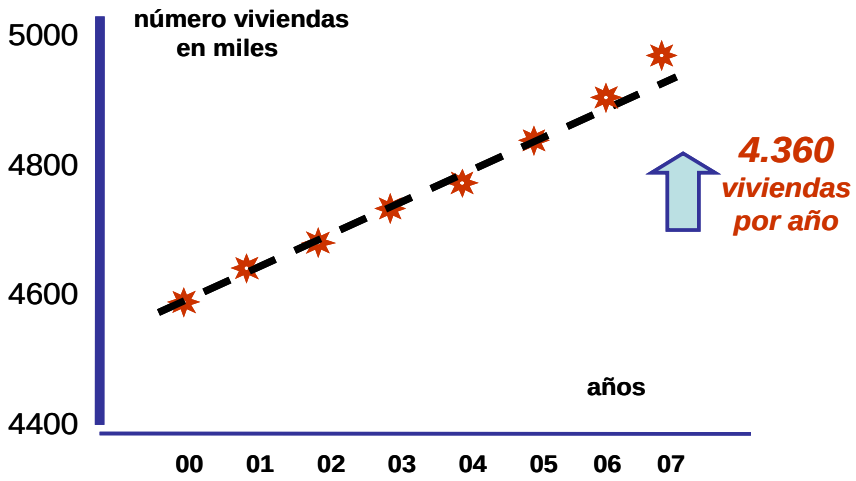


Gráfico 4H. Viviendas en Medellín. 2000 - 2007

La densidad habitacional aumenta a razón de 4-5 mil viviendas por año y su número tiende a aumentar con la reactivación de la construcción en los últimos años. (gráfico 4H)

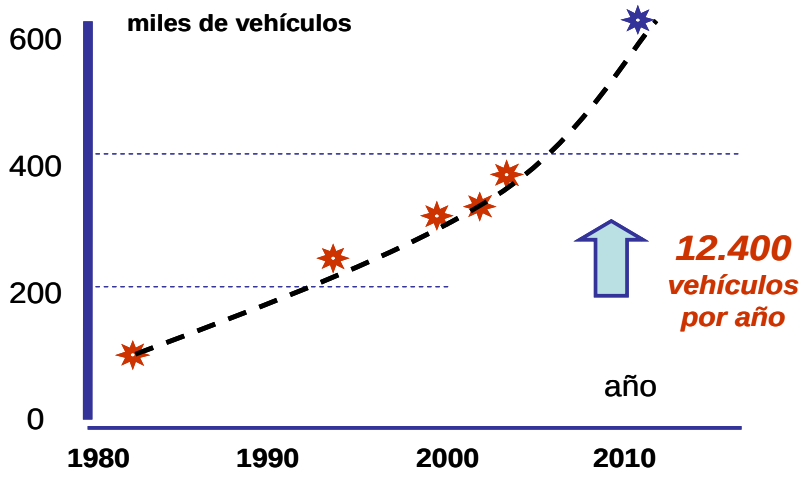


Gráfico 4I. Vehículos en Medellín. 1980 – 2010

La cantidad de vehículos automotores viene aumentando en Medellín y su área metropolitana con el ingreso de un número cada vez más alto de automotores, recientemente agravado con la inusitada profusión de motocicletas, en una trama vial estrecha y limitada que tiene pocas probabilidades de expansión. (gráfico 4I)

Partículas totales en suspensión (PST)

Los niveles de concentración en las diversas estaciones de Medellín y del área metropolitana son diferentes y varían desde niveles promedios de 50 µg/m^3 hasta 140 µg/m^3 (gráficos 5A - 5C). La ubicación de las estaciones también es muy variable y fluctúa en altura desde 2 m hasta 30 – 40 m sobre el nivel de la vía más cercana.

Estadísticos

	Poli
N	473
Media	104,56
Mediana	104,0
Moda	87
Desv. típ.	25,75
Mínimo	42
Máximo	211

Estadísticos

	Unal
N	569
Media	133,99
Mediana	129,00
Moda	114
Desv. típ.	33,265
Mínimo	43
Máximo	275

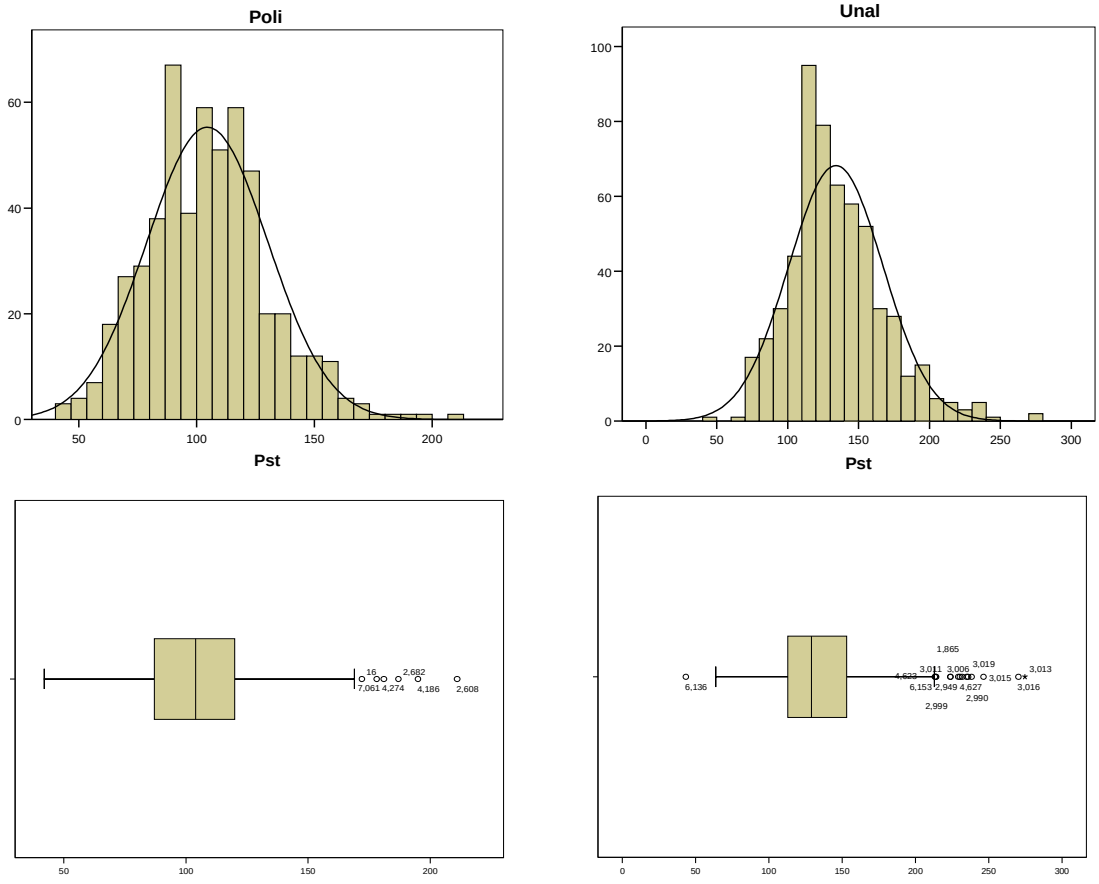


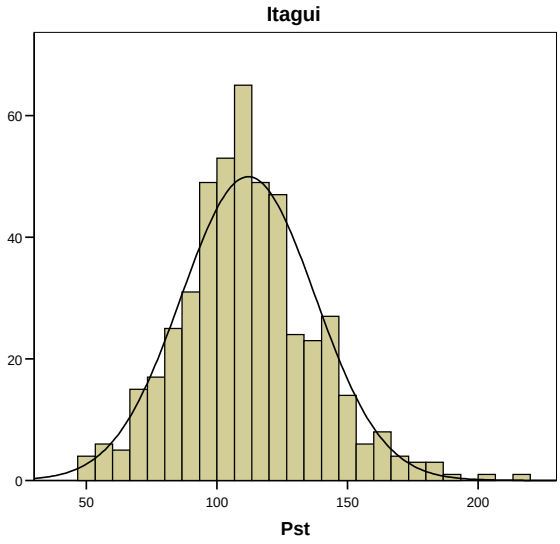
Gráfico 5A. Estadísticos descriptivos de PST en estaciones de Politécnico y Universidad Nacional. 2001 - 2006

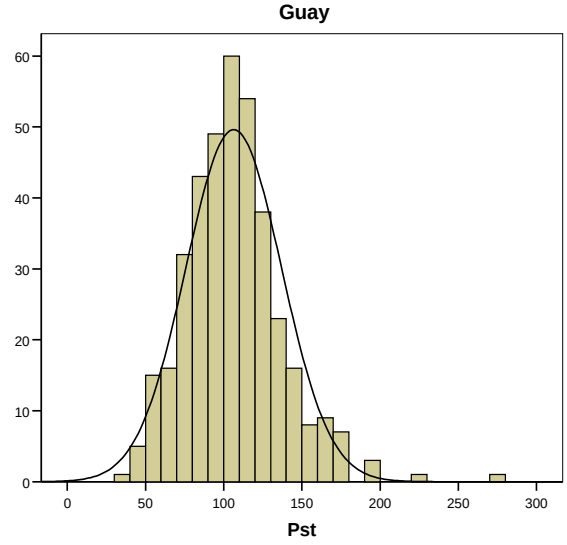
Estadísticos

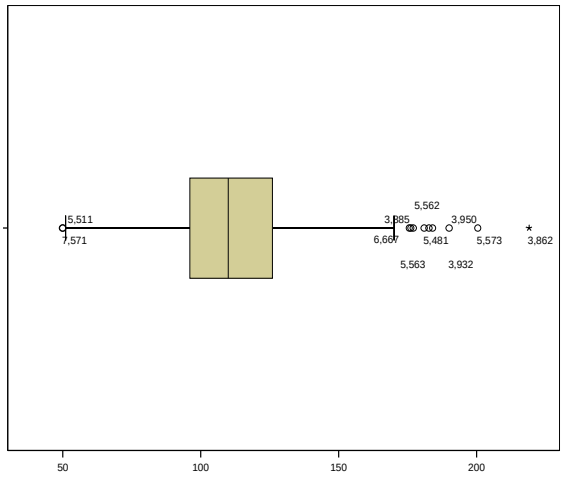
N	
Media	111,99
Mediana	110,00
Moda	110
Desv. típ.	25,624
Mínimo	50
Máximo	219

Estadísticos

	Guay
N	381
Media	106,38
Mediana	104,79
Moda	107
Desv. típ.	30,635
Mínimo	30
Máximo	278







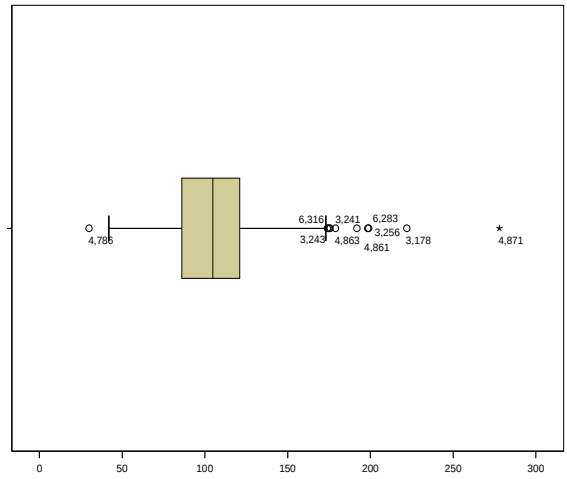


Gráfico 5B. Estadísticos descriptivos de PST en estaciones de Itagüí y Guayabal. 2001 - 2006

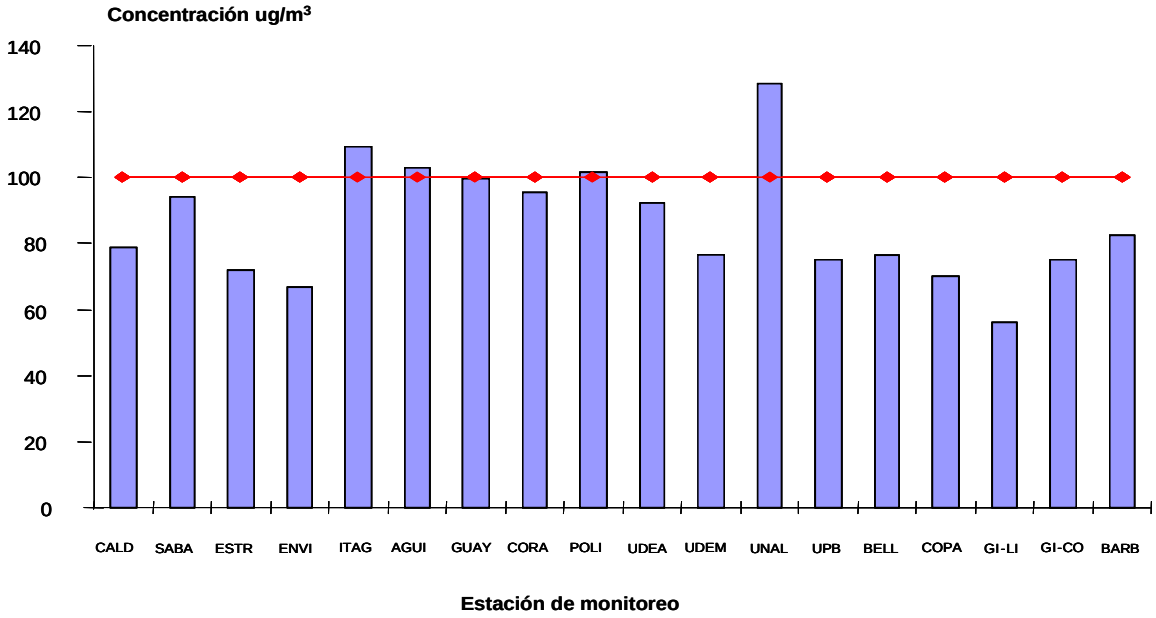


Gráfico 5C. Concentraciones promedio multianuales de PST (µg/m^3) en estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá. 2000 - 2005

Las distancias horizontales entre la estación de registro y los lugares de confluencia vehicular más cercanos varían entre 20 m para la más cercana y unos 300 m para las más lejanas. El entorno alrededor de las estaciones también es muy variable, en algunas su ubicación encima de un edificio se rodea solamente por otras edificaciones de altura similar, las estaciones situadas en las universidades están rodeadas de árboles y algunas edificaciones dispersas.

En general todas las gráficas que describen el comportamiento del material particulado (PST) permiten observar las oscilaciones cíclicas que se presentan semestralmente, 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. (gráficos 5D – 5H)

Algunas estaciones detectan muy bien la tendencia ascendente del material particulado a medida que pasan los años y aumenta el tránsito vehicular, en concordancia con el aumento en el parque automotor dentro de la limitada red vial de la ciudad. El ascenso observado en la estación Politécnico durante el periodo de los cinco años más recientes (tabla 11), representa un incremento de 15 – 20 µg/m^3 (gráfico 5H), en otras los niveles se sostienen en valores altos (140 µg/m^3 U. Nacional). (gráfico 5D)

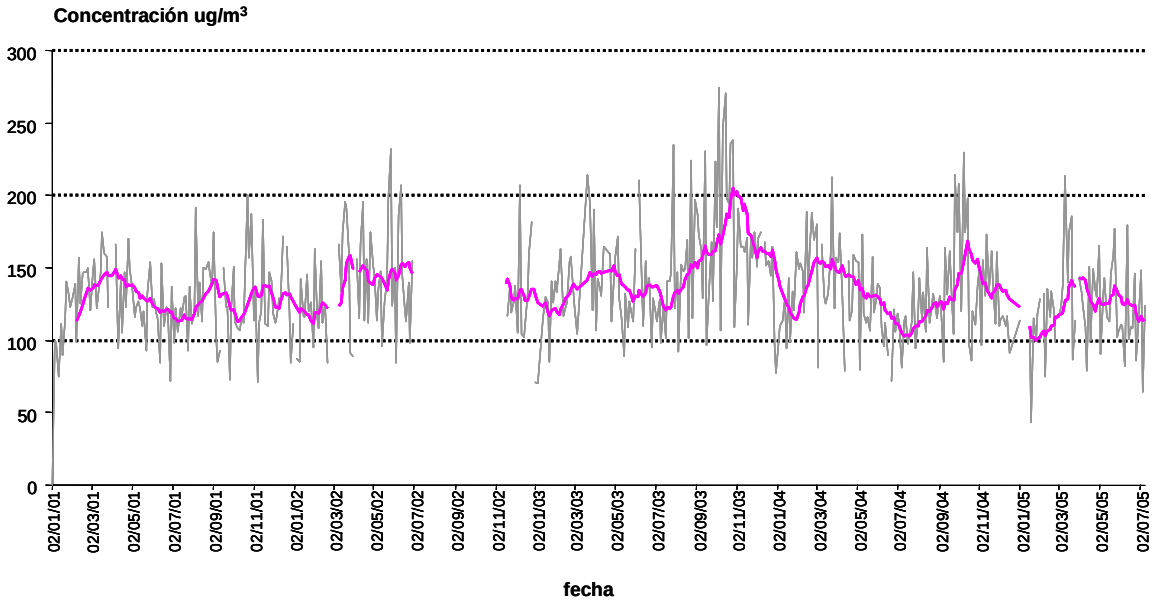


Gráfico 5D. Comportamiento de la contaminación por PST en la estación UNAL. 2001 - 2005

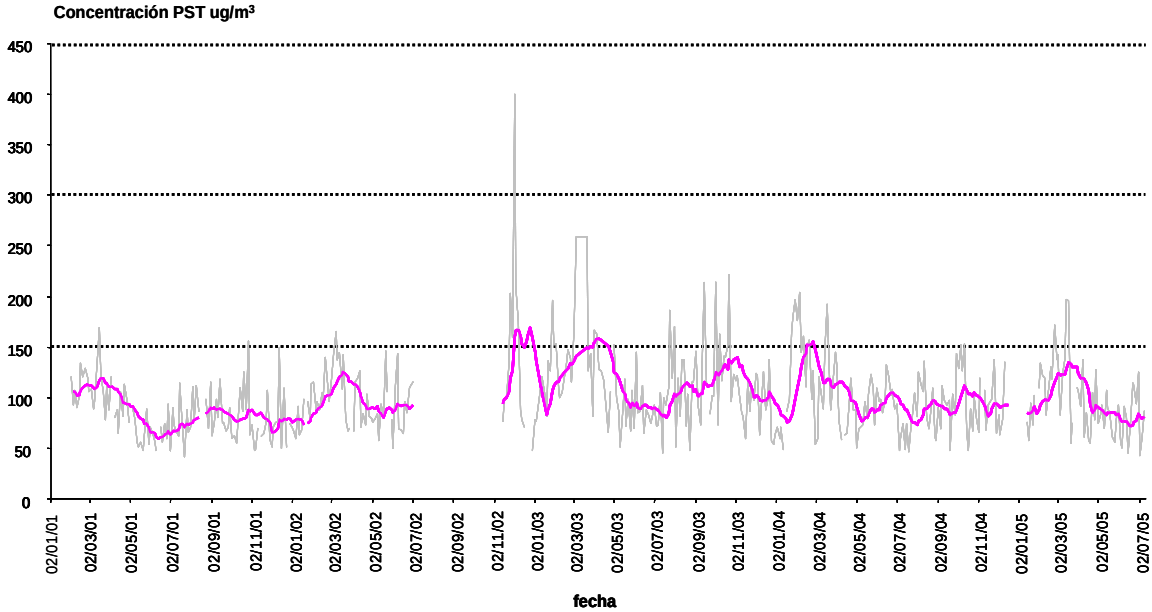


Gráfico 5E. Comportamiento de la contaminación por PST en la estación UDEA. 2001 - 2005

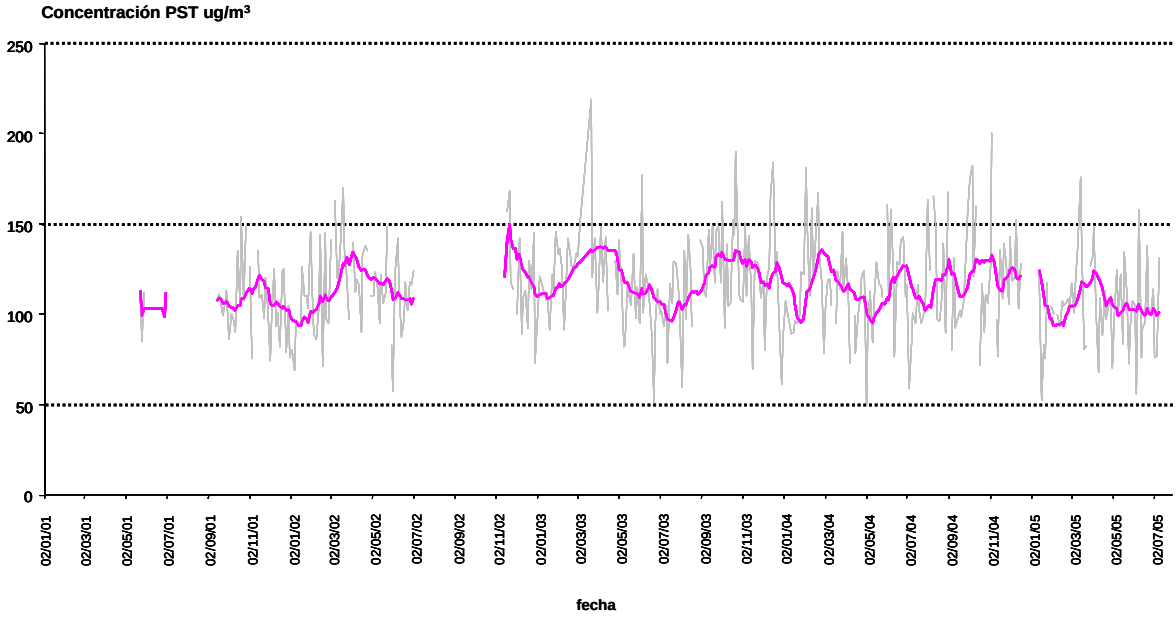


Gráfico 5F. Comportamiento de la contaminación por PST en la estación Itagüí. 2001 - 2005

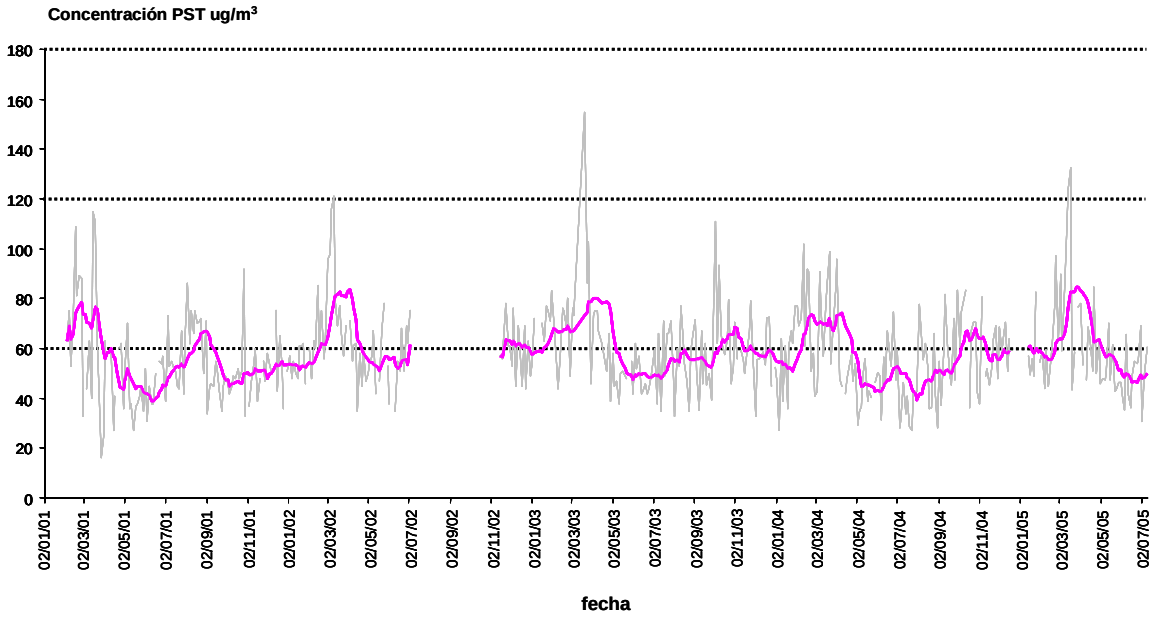


Gráfico 5G. Comportamiento de la contaminación por PST en la estación Girardota. 2001 - 2005

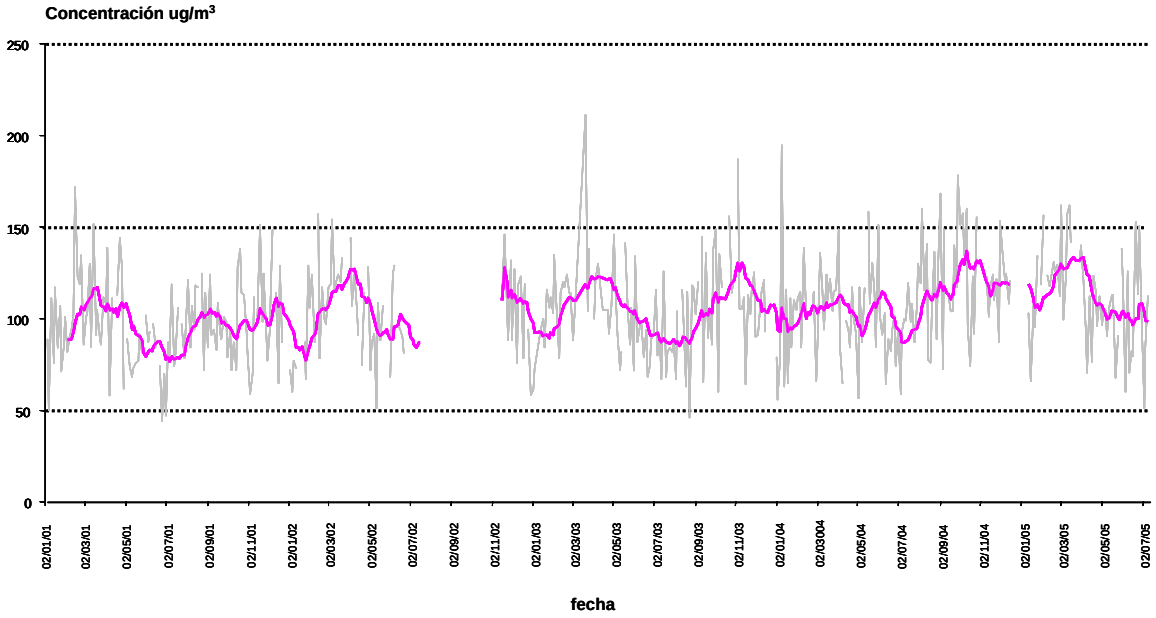


Gráfico 5H. Comportamiento de la contaminación por PST en la estación Politécnico. 2001 - 2005

Tabla 11. Concentraciones de PST (µg/m^3) 2000-2005

Estación	años 2000-2001	año 2002	año 2003	año 2004	año 2005 (1er semestre)	prom. geom 2000-2005
CAL			82	73	82	79
SAB	88	94	103	93	94	94
EST	71	64	77	76	72	72
ENV	62	68	68	69	66	67
ITA	105	112	115	114	102	109
AGUI			103	104	102	103
GUAY		95	101	103	100	100
CORA		96	95			95
POLI	94	100	101	106	108	102
UDEA	80	97	103	93	90	92
UDEM	66	84	78	80	75	76
UNAL	124	132	141	128	119	129
UPB	71	74	80	79	71	75
BEL	71	77	80	79		77
COP				70	70	70
GI-LI	51	60	57	54	58	56
GI-CO		72	78	75		75
BAR	74	72	88	89	91	82

Fuente: Boletines la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá

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 µg/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 son en general más bajos (50 – 80 µg/m^3) en comparación con los municipios que conforman el gran bloque urbano central del área metropolitana (100 – 120 µg/m^3).

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 – 35 µg/m^3 para PST, lo cual se corresponde aproximadamente con 15 – 2 0 µg/m^3 para PM_{10} y con 7 – 10 µg/m^3 para $PM_{2.5.}$

Las concentraciones de partículas totales en suspensión exceden en 250 – 400% los niveles de precaución sanitaria estimados por los científicos y autoridades de la salud en el mundo.

Material Particulado (PM_{10})

Los valores promedios registrados varían entre 28 y 124 µg/m^3, con promedio de 65.3. (gráfico 6A). La medición de partículas respirables (PM_{10}) 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). (gráfico 6B)

Estadísticos

N	818
Media	63,03
Mediana	60,90
Moda	51,00
Desv. típ.	18,99
Varianza	360,51
Mínimo	24,00
Máximo	153,00

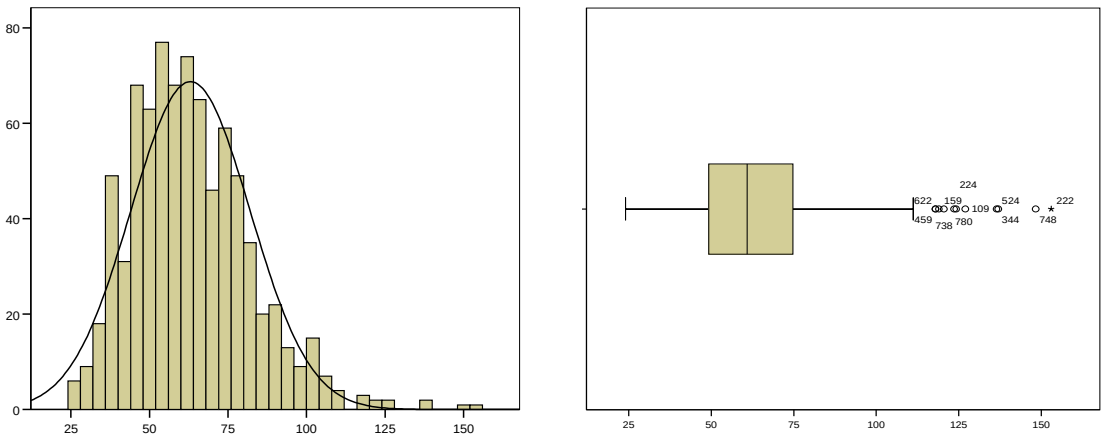


Gráfico 6A. Estadísticos descriptivos de material particulado respirable PM_{10} en estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá. 2001 - 2005

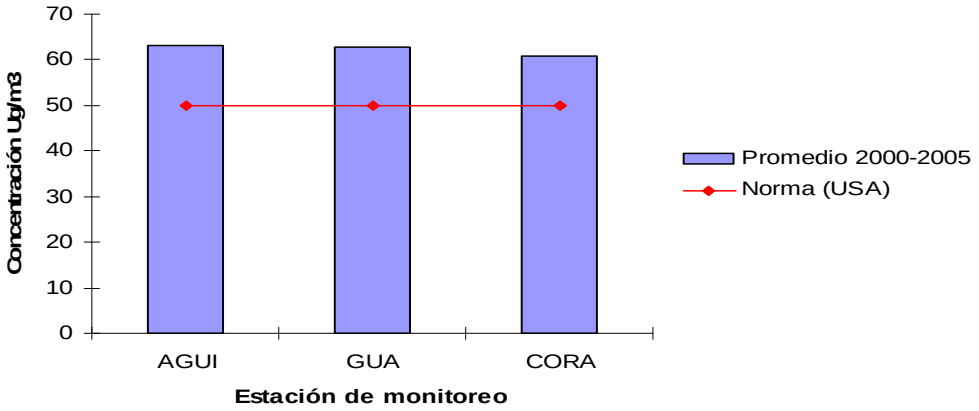


Gráfico 6B. Concentraciones promedio de PM_{10} ($\mu g/m^3$) en estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá. 2000 - 2005

Los valores registrados en los últimos años en la ciudad (tabla 12) 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, la semana y el año en clara correspondencia con los periodos laborales y de descanso productivo.

Tabla 12. Concentraciones de PM_{10} ($\mu g/m^3$). 2002 - 2005

Estac.	Año 2002	Año 2003	Año 2004
AGUI		61	65
GUAY	57	63	68
CORA	60	61	61

La tendencia de los valores de concentración es hacia un aumento gradual con gradiente para 3 años de 6 - 8 $\mu g/m^3$. 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 $\mu g/m^3$. (gráficos 6C - 6E)

Mediciones actualizadas permiten registrar valores promedios diarios de 80 - 100 $\mu g/m^3$ y variaciones diarias que no descienden por debajo de 30 - 40 $\mu g/m^3$ y que alcanzan a subir hasta 200 - 300 $\mu g/m^3$ en los momentos de alta densidad vehicular.

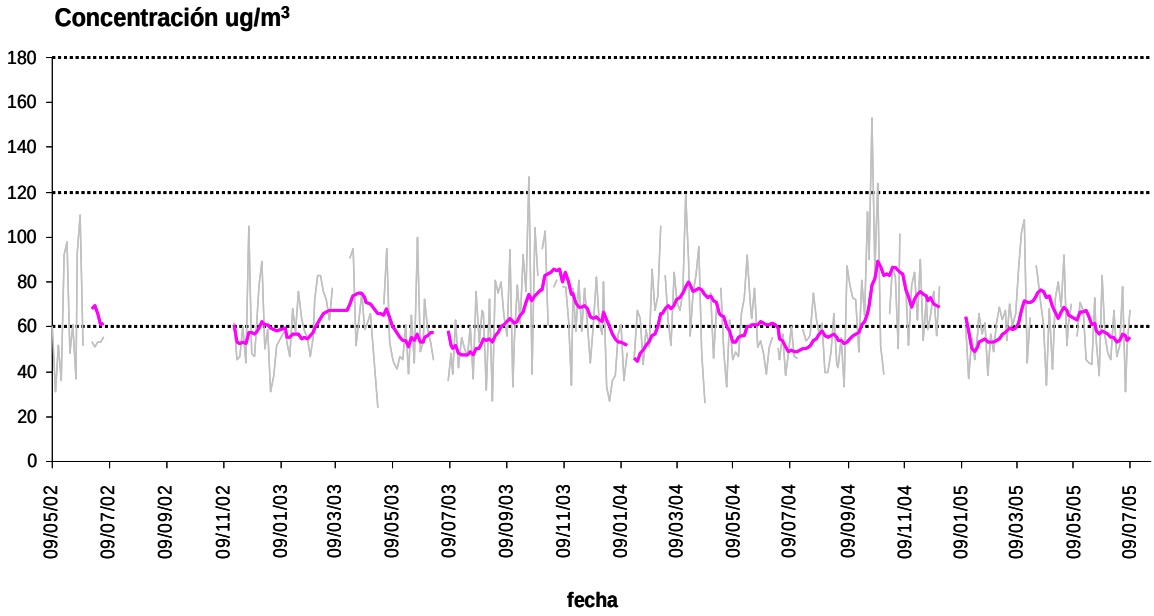


Gráfico 6C. Comportamiento de la contaminación por PM_{10} en la estación Corantioquia en el período 2002 - 2005

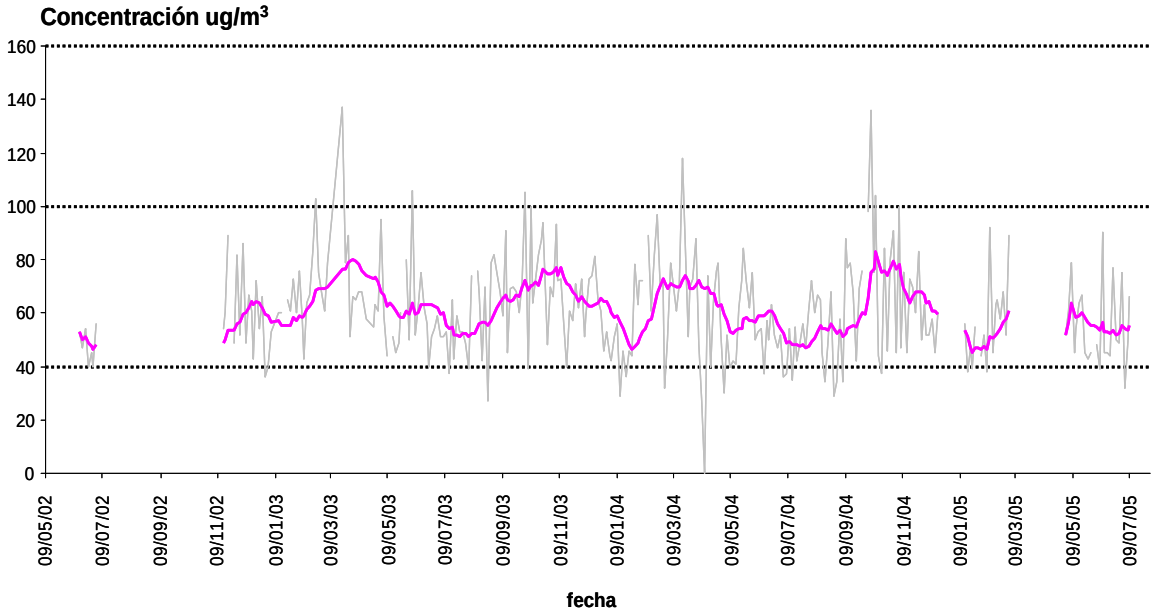


Gráfico 6D. Comportamiento de la contaminación por PM_{10} en la estación Guayabal. 2002 - 2005

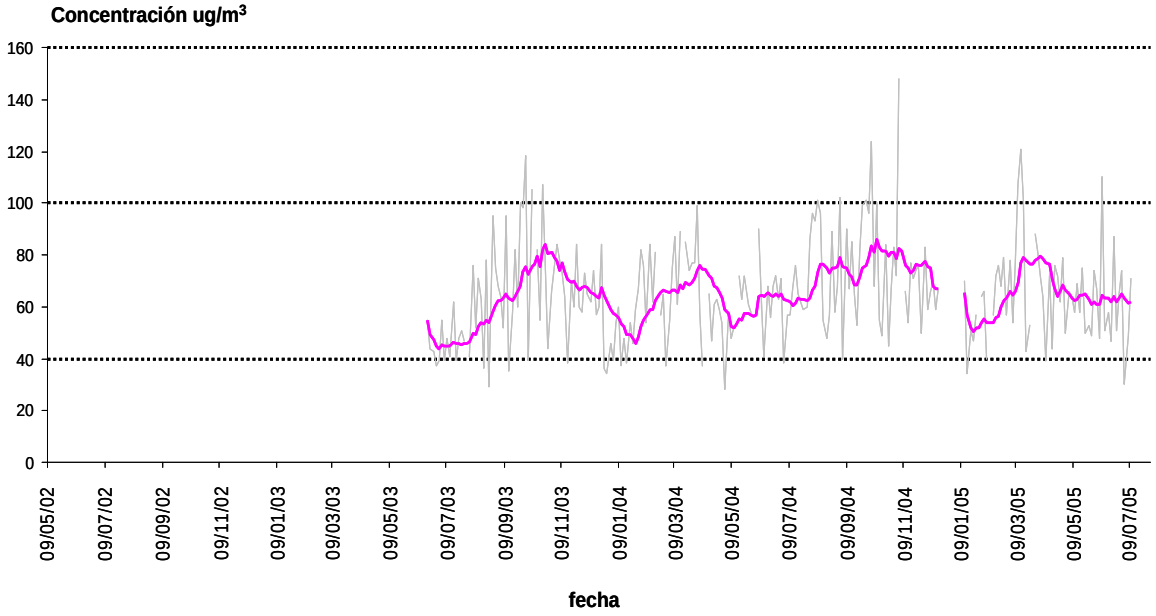


Gráfico 6E. Concentraciones promedio de PM_{10} en la estación Aguinaga. 2000 - 2005

Los valores de contaminación atmosférica por material respirable superan los niveles de precaución internacional (50 µg/m^3) y exceden las directrices mundiales que traza la Organización Mundial de la Salud, en la cual se proclama la necesidad de no rebasar los 20 µg/m^3 para la exposición prolongada.

Los niveles de precaución para la salud en relación con este contaminante se exceden en un 200 - 400%, lo cual lo ubica como un factor crítico en los aspectos de riesgo para la salud de la comunidad y en cuanto a los requerimientos de control y regulación de emisiones.

Óxidos de Nitrógeno (NO_x)

Las concentraciones de NO_x en el área metropolitana varían desde 2 hasta 90 µg/m^3, con un promedio de 39.2 en el periodo estudiado. (gráfico 7A)

Estadísticos

N	806
Media	36,28
Mediana	34,71
Moda	23,48
Desv. típ.	17,49
Varianza	305,86
Mínimo	,57
Máximo	112,22

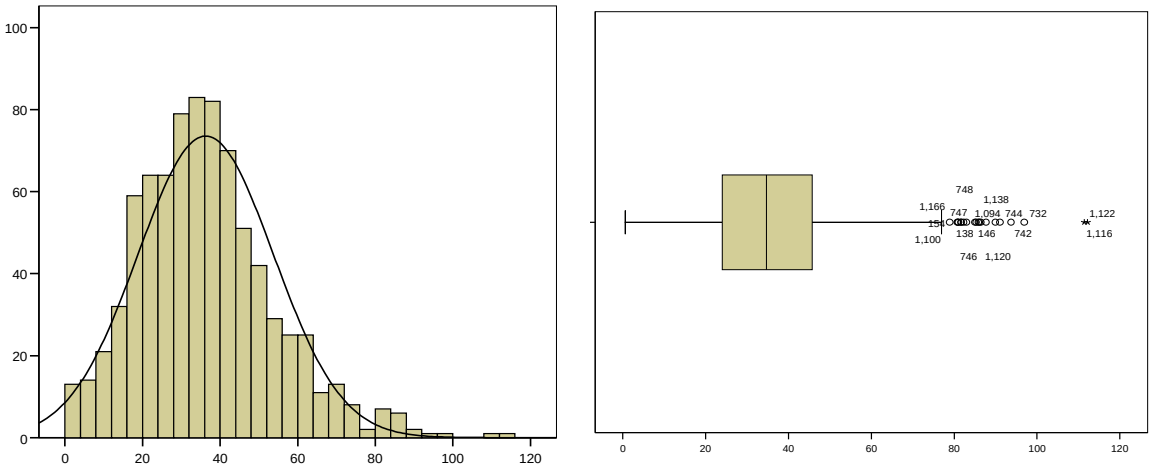


Gráfico 7A. Estadísticos descriptivos de NO_2 en estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá. 2001 - 2006

Los Óxidos de Nitrógeno no se miden en todas las estaciones de la red metropolitana que monitorea la |calidad del aire, tal como se hace con las partículas en suspensión total. (gráfico 7B). 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 (tabla 13).

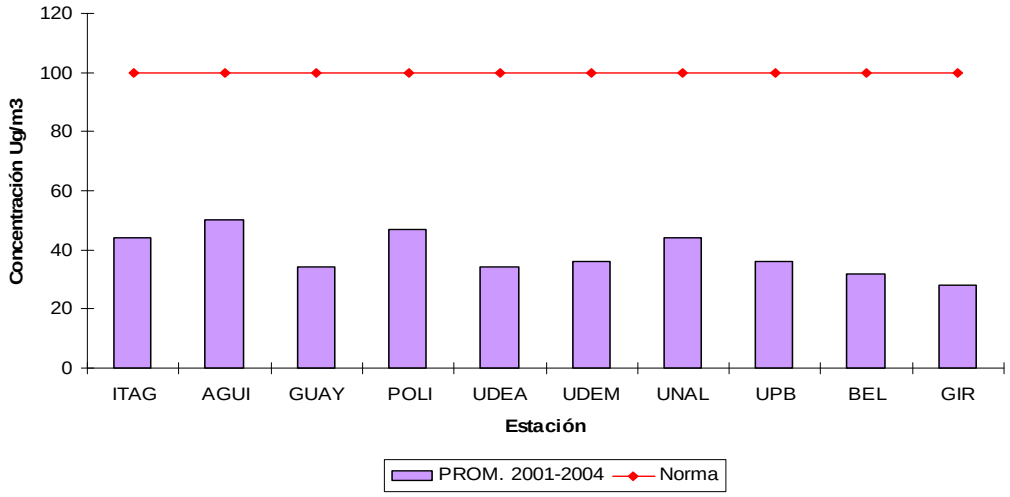


Gráfico 7B. Concentraciones promedio de NO_2 en estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá. 2001 - 2004

Tabla 13. Concentraciones de NO_2 ($\mu g/m^3$). 2001-2004

Estación	Año 2001	Año 2002	Año 2003	Año 2004	Prom. 2001- 2004
Itagüí	47	41		43	44
Aguinaga			50	50	50
Guayabal			34		34
Politécnico	54	52	41	42	47
UdeA	40	36	27		34
UdeM	36				36
UNAL	50	47	39	41	44
UPB	40	39	32	33	36
Bello	32		31		32
Girardota	31	30	22		28

Fuente: Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá

Los valores graficados describen, para el tiempo más reciente, una leve tendencia al ascenso con valores que se inician en 35 - 38 $\mu g/m^3$ y que avanzan en el transcurso de 3 años hasta 42 - 45 $\mu g/m^3$.

Las curvas de comportamiento de la concentración de NO_x en relación con el tiempo son notablemente similares para las diversas estaciones estudiadas, al igual que la magnitud y la tendencia de los valores. (gráficos 7C – 7E). Las oscilaciones cíclicas temporales son algo erráticas e irregulares, en comparación con los ciclos más uniformes que se registran para el material particulado.

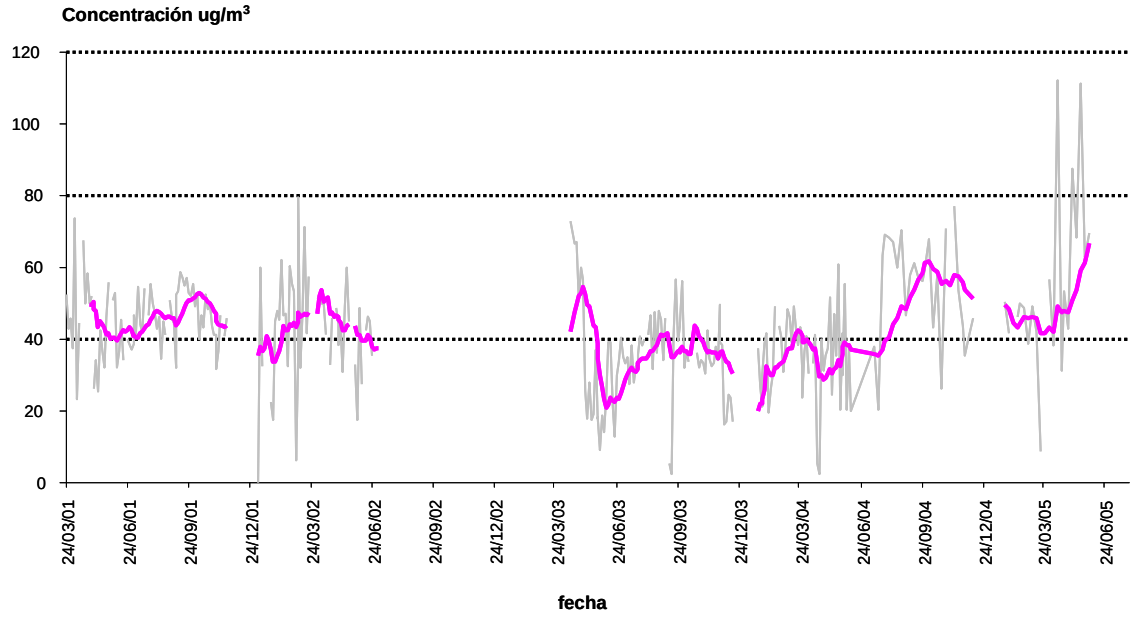


Gráfico 7C. Comportamiento de la contaminación por NO_2 en la estación Politécnico. 2001 - 2005

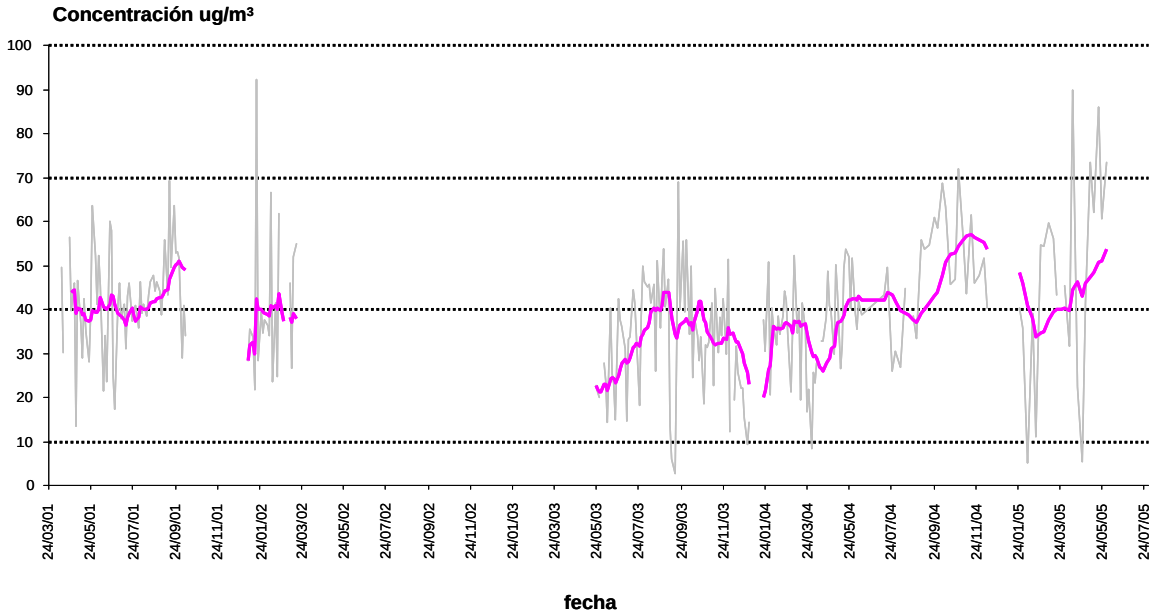


Gráfico 7D. Comportamiento de la contaminación por NO_2 en la estación Universidad Nacional. 2001 - 2005

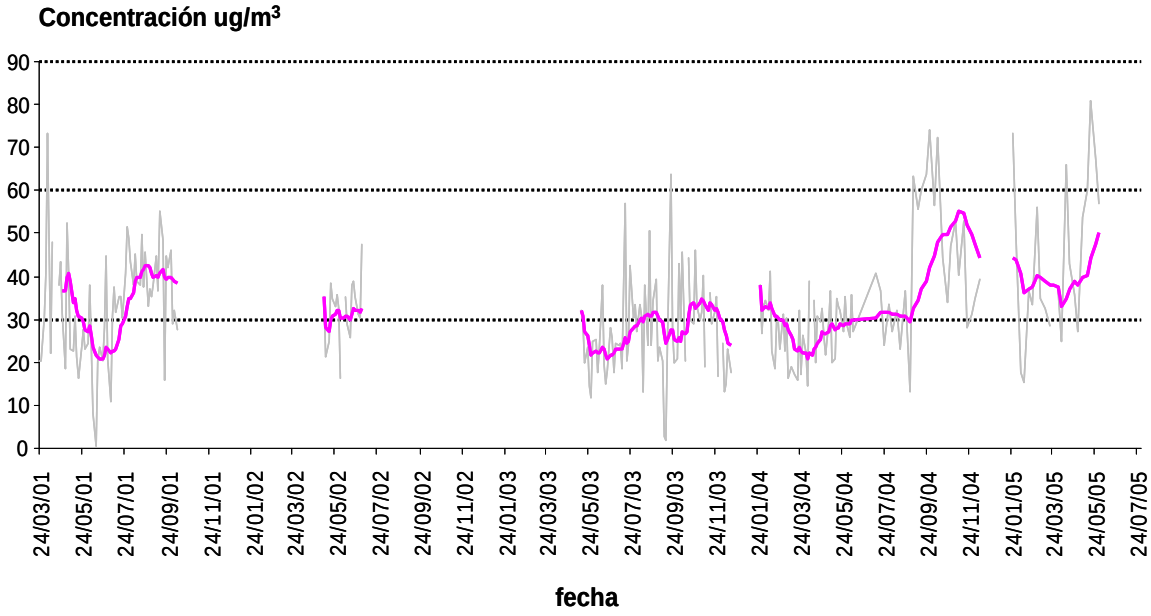


Gráfico 7E. Comportamiento de la contaminación por NO_2 en la estación UPB. 2001 - 2005

Los niveles que se registran adolecen de todas las limitaciones mencionadas en relación con la ubicación de las estaciones de medición y la distancia variable a la cual se ubican las fuentes de emisión, no obstante, los valores obtenidos para el área urbana central de Medellín ya cruzan los niveles de precaución sanitaria de 40 µg/m^3 establecidos por la Organización Mundial de la Salud, y avanzan en una tendencia hacia el agravamiento, en concordancia con la densificación del tránsito automotor.

Óxidos de Azufre (SO_x)

Las concentraciones promedio de SO_x en el área metropolitana varían desde 0.1 hasta 50.6 µg/m^3, con un promedio de 10.3. (gráfico 8A)

Estadísticos

N	651
Media	11,08
Mediana	7,82
Moda	,00
Desv. típ.	10,65
Varianza	113,41
Mínimo	,00
Máximo	83,30

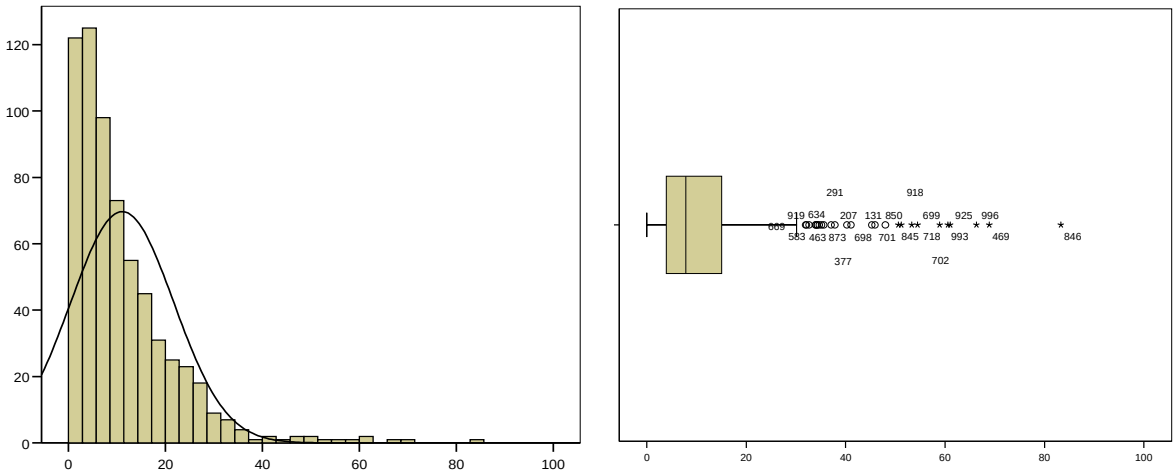


Gráfico 8A. Estadísticos descriptivos de SO_2 en estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá. 2001 - 2006

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. (gráfico 8B). Las estaciones de la Universidad Nacional y del Politécnico ofrecen las series que aportan registros un poco más regulares y eventualmente más confiables.

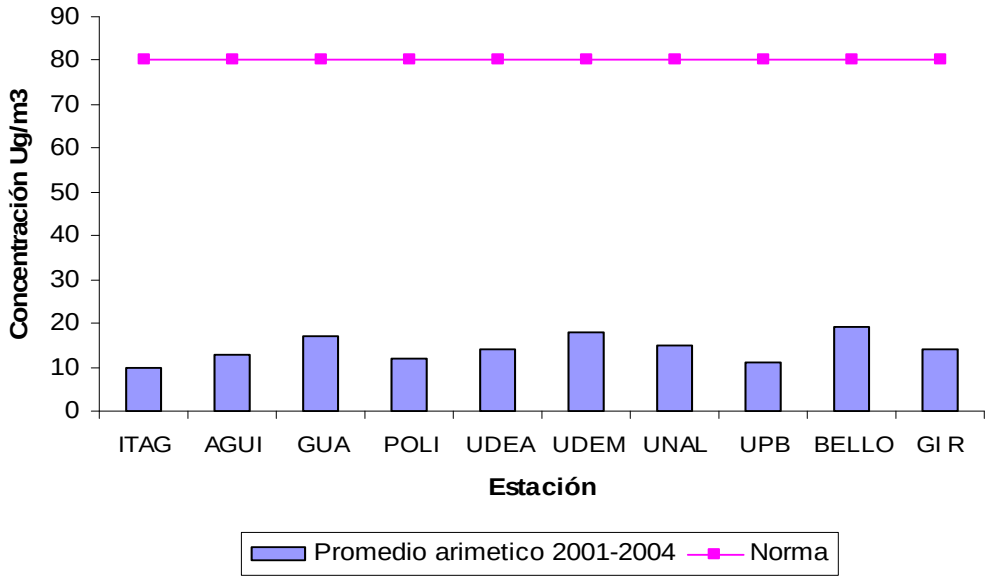


Gráfico 8B. Concentraciones promedio multianuales de SO_2 en estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá. 2001 - 2004

Los valores registrados se encuentran por debajo de 20 µg/m^3, 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 regulares y erráticas, como ocurre con los Óxidos de Nitrógeno, pero son notablemente 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 descenso moderado, al menos en el transcurso de los últimos años (tabla 14) los valores varían desde concentraciones iniciales de 10-15 µg/m^3 hasta valores más bajos de 5-8 µg/m^3. (gráficos 8C-8E)

Los valores, de todas formas, se sitúan por debajo de los límites de precaución sanitaria establecidos en 20 µg/m^3 por la Organización Mundial de la Salud.

Tabla 14. Concentraciones de SO_2 ($\mu g/m^3$). 2001-2004

Estación	Año 2001	Año 2002	Año 2003	Año 2004	Prom. 2001-2004
Itagüí	15	10		6	10
Aguinaga			15	11	13
Guayabal			17		17
Politécnico	18	8	11	12	12
UDEA	17	8	18		14
UDEM	18				18
UNAL	23	13	12	13	15
UPB	19	4	12	9	11
Bello	24		13		19
Girardota	20	9	14		14

Fuente: Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá

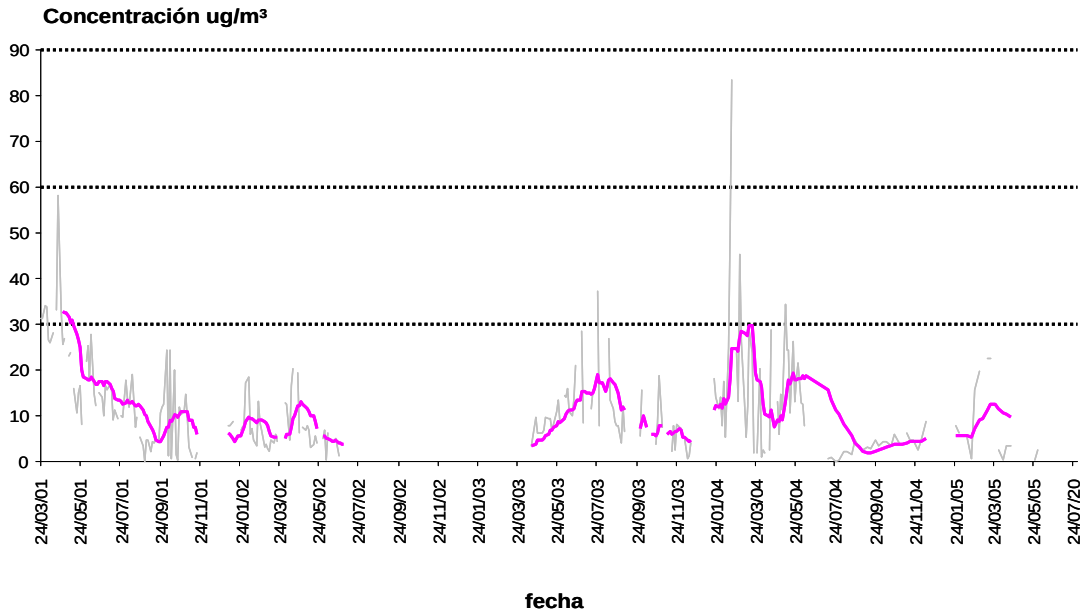


Gráfico 8C. Comportamiento de la contaminación por SO_2 en la estación Politécnico. 2001 - 2005

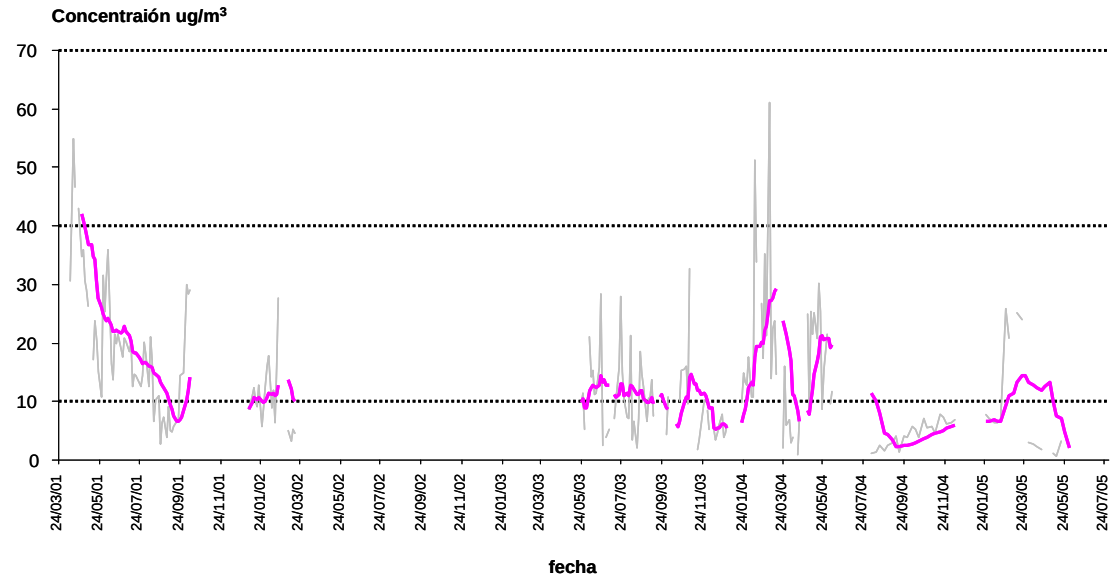


Gráfico 8D. Comportamiento de la contaminación por SO_2 en la estación UNAL. 2001 - 2005

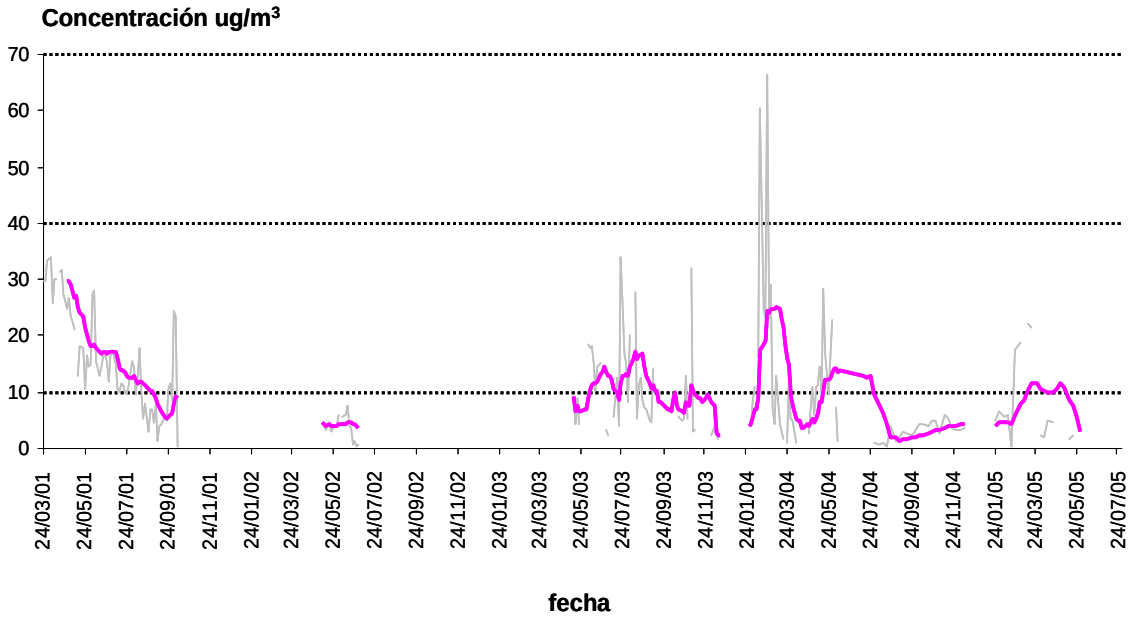


Gráfico 8E. Comportamiento de la contaminación por SO_2 en la estación UPB. 2001 - 2005

Monóxido de carbono (CO)

Un ciclo diario es evidente con dos elevaciones más acentuadas, que concuerdan con los picos de alta densidad en el tránsito vehicular, tanto en las horas de la mañana, cuando las personas se desplazan a sus oficios, como en las horas de la tarde, cuando regresan. (gráfico 1E)

Los niveles promedio octohorarios 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. (gráfico 9A)

Estadísticos

N	1169
Media	1,67
Mediana	1,47
Desv. típ.	,95
Varianza	,90
Mínimo	,09
Máximo	7,10

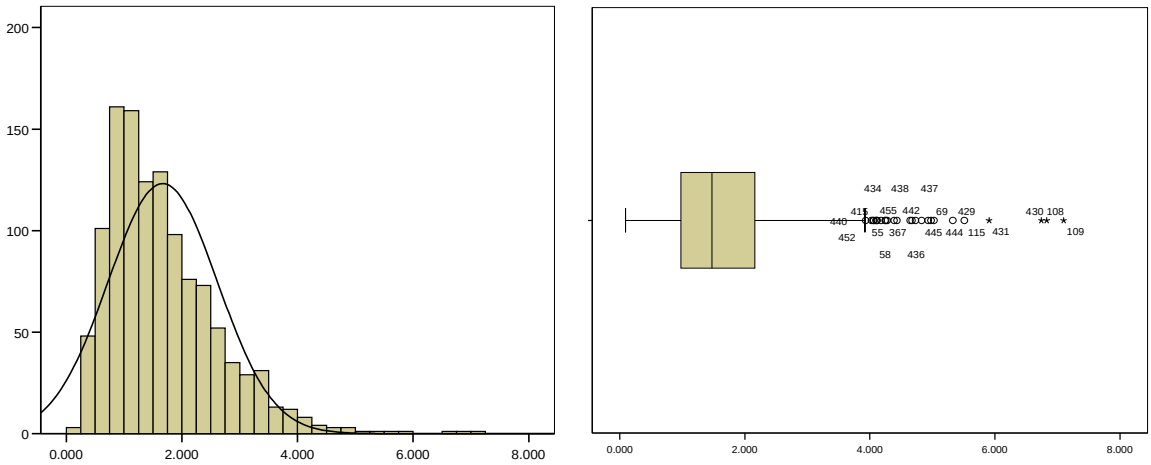


Gráfico 9A. Estadísticos descriptivos de CO en estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá. 2001 - 2006

El comportamiento consolidado de los datos muestran relativa estabilidad a través de los años con datos que son muy similares para las tres estaciones que registran sistemáticamente este contaminante (tabla 15). (gráfico 9B)

Tabla 15. Estadísticos descriptivos Monóxido de Carbono (CO)
2005-2006

Estación	Datos	2005	2006	Total general
AMVA	N	134	249	383
	Promedio	1,79	1,54	1,63
	Mínimo	0,27	0,09	0,09
	Máximo	7,10	4,25	7,10
	Desviación	1,25	0,77	0,97
CENTRO	N	124	265	389
	Promedio	3,16	1,81	2,24
	Mínimo	1,39	0,34	0,34
	Máximo	6,83	3,30	6,83
	Desviación	0,90	0,61	0,95
GUAY	N	209	188	397
	Promedio	1,23	1,06	1,15
	Mínimo	0,24	0,25	0,24
	Máximo	3,44	3,51	3,51
	Desviación	0,54	0,45	0,51
N		467	702	1169
Promedio		1,90	1,51	1,67
Mínimo		0,24	0,09	0,09
Máximo		7,10	4,25	7,10
Desviación		1,19	0,70	0,95

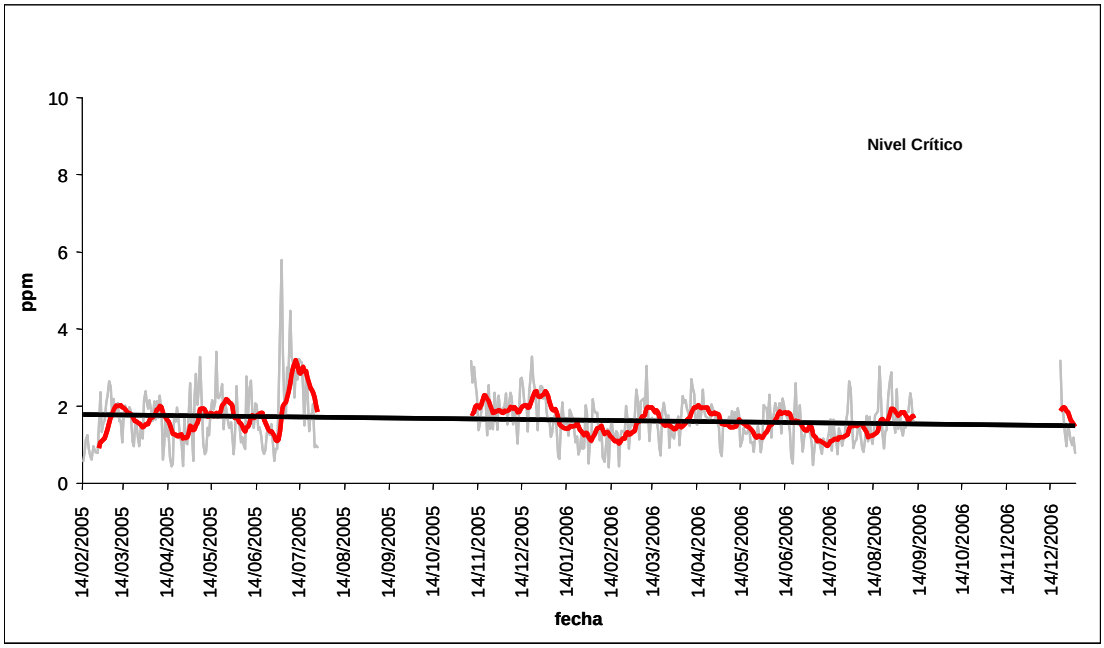


Gráfico 9B. Promedios de CO en estaciones de
la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá. 2005 – 2006

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. (gráfico 9C)

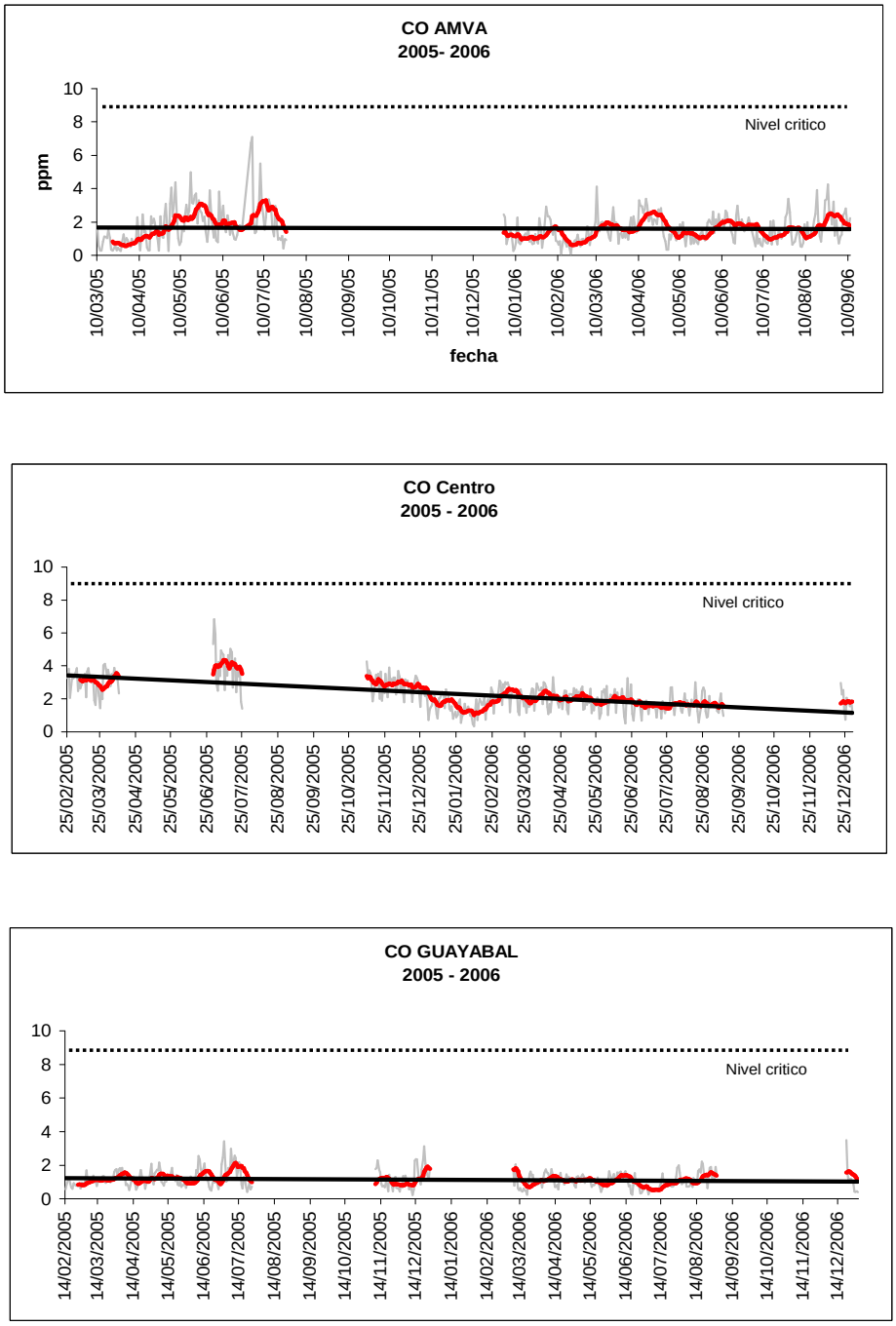


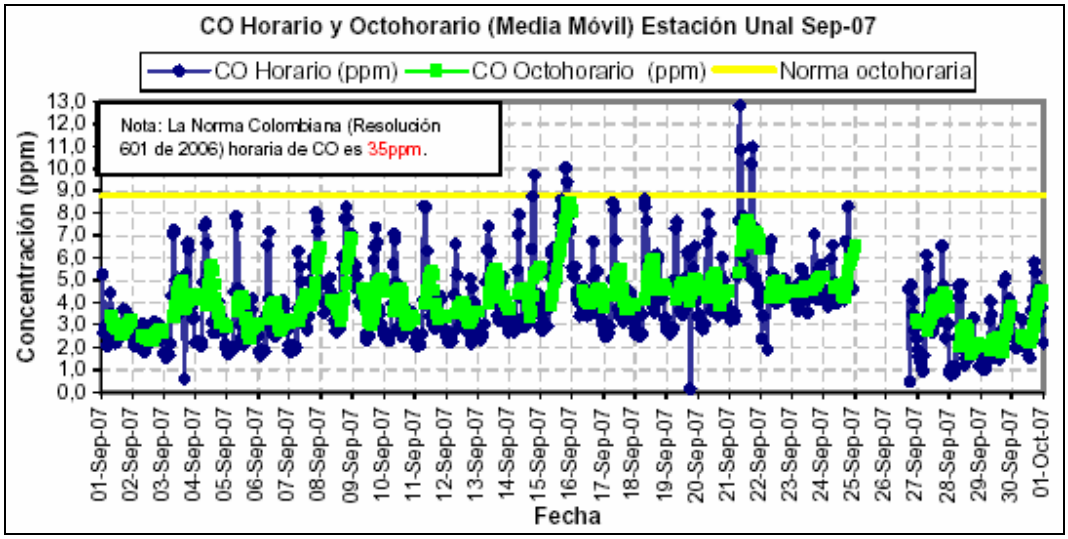
Gráfico 9C. Promedios de CO en estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá. 2005 - 2006

Los datos iniciales, especialmente en la estación de Guayabal, mostraban lo que parecía ser un empinado incremento de los niveles de contaminación por CO. No obstante, la inestabilidad de tales datos y los reportes de las dificultades técnicas en la medición, en la validez y en la precisión, hacen suponer que los primeros datos de esta serie no son dignos de confianza.

Los valores registrados, en general, se reportan en esta última fase de la serie con promedios diarios entre 2 y 6 ppm, que están por debajo de los umbrales de precaución para la salud que se establecen en 9 ppm.

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

Para el año 2007, los valores siguen oscilando entre 2 y 7 ppm, pero ocasionalmente presentan picos por encima del límite de precaución establecido por las normas octohorarias, lo cual ocurre principalmente en sitios de alta densidad vehicular dentro del entorno urbano, tales como el centro de la ciudad y algunos cruces de tránsito vehicular periféricos. (gráfico 9D)



* Fuente: Red de monitoreo de la calidad del aire del Valle de Aburrá. Sep/07

Gráfico 9D. Promedios de CO en estación UNAL sept 2007

Ozono (O_3)

Los niveles de Ozono en el área metropolitana varían desde cero hasta 47 ppb, con promedio de 17 para el periodo estudiado. La distribución de frecuencias tiene una apariencia cercana a la curva normal, con unos pocos datos excéntricos hacia la derecha. (gráfico 10A)

Estadísticos

N	720
Media	16,69
Mediana	15,211
Moda	27,0
Desv. típ.	8,47
Mínimo	,0
Máximo	46,8

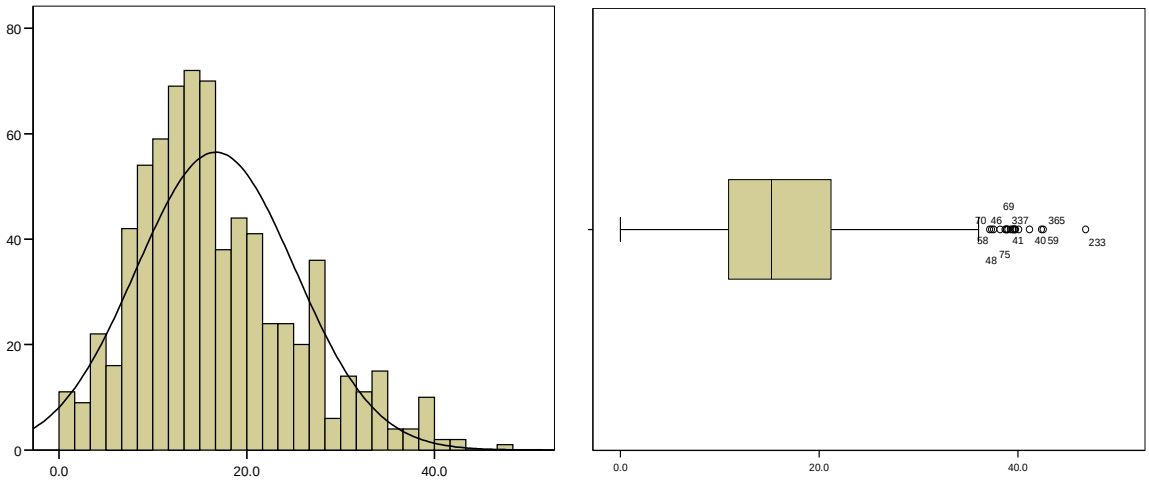


Gráfico 10A. Estadísticos descriptivos de O_3 en estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá. 2003 - 2005

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 completas del área metropolitana y reporta datos desde el año 2003.

Los datos son incompletos y discontinuos pero permiten ver una discreta tendencia al descenso, desde valores que promedian 25 - 30 ppb (partes por billón) en el año 2003 hasta valores de 8 - 15 ppb para el año 2006.

Los valores de promedios para periodos en 8 horas se sitúan por debajo de los niveles de precaución sanitaria que propone la OMS en un valor de 50 ppb (equivalentes a 100 µg/m^3) (tabla 16). (gráfico 10B)

Tabla 16. Concentraciones de Ozono en la estación Guayabal. 2003-2006

Mes	2003		2004		2005		2006	
	ppb	n	ppb	n	ppb	n	ppb	n
Enero	25	25					13	29
Febrero	27	24	25	19			15	28
Marzo	26	29	23	28			15	31
Abril	21	30	12	29			13	30
Mayo	19	31	15	1			11	31
Junio	16	30					10	30
Julio	18	31			12	16	11	31
Agosto	21	13					14	31
Septiembre	21	30						
Octubre	17	31						
Noviembre	18	30			9	22		
Diciembre	16	29			12	26	8	5
Total	20	333	19	77	11	64	12	246

ppb: partes por billón

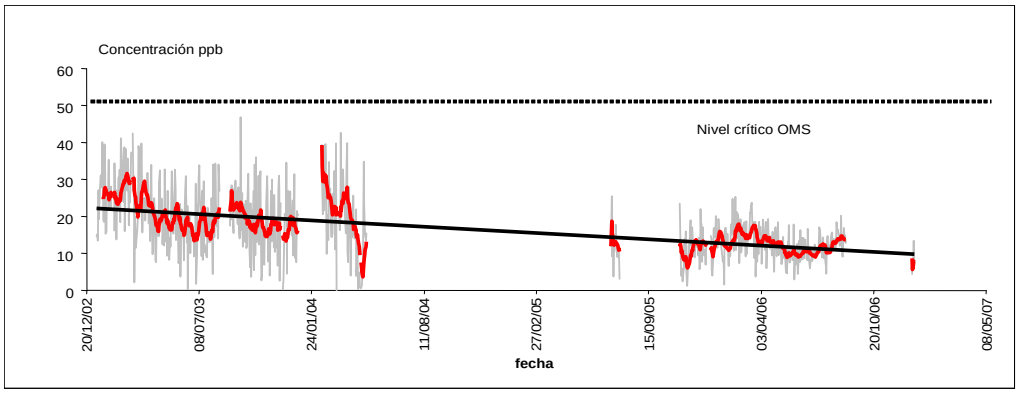


Gráfico 10B. Promedios de Ozono O_3 en la estación Guayabal. 2003 - 2006

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. (gráfico 10C)

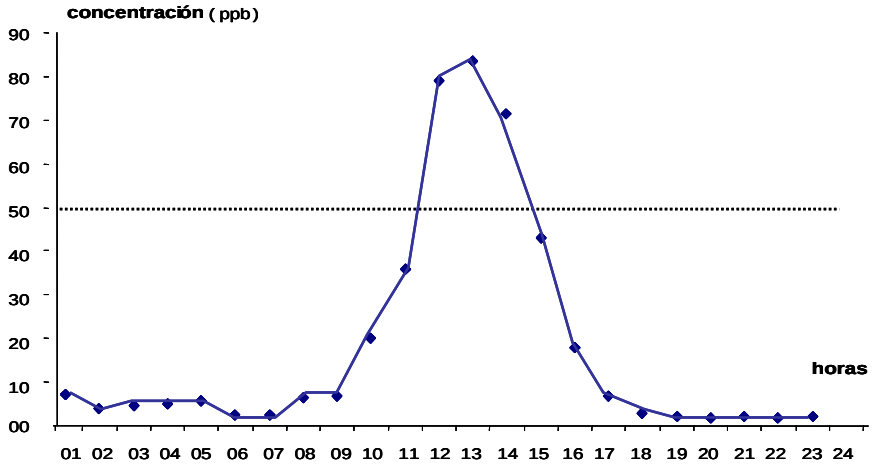


Gráfico 10C. Valores horarios alcanzados de O_3 en un día típico soleado.

Los datos más recientes obtenidos con las estaciones móviles automáticas permiten evidenciar que en diversos sitios de la ciudad y cada vez con mayor frecuencia se presentan episodios de elevación del Ozono que superan la norma horaria (60 ppb) y la norma octoraria (40 ppb). La ocurrencia de episodios críticos de contaminación por Ozono está supeditada a la presencia simultánea de factores precursores tales como Óxidos de Nitrógeno, Hidrocarburos, vapor de agua, radiación solar intensa y otros. Esta concurrencia de factores tiene alta factibilidad en el entorno urbano de Medellín y su área metropolitana.

En general, los valores del Ozono, dada su magnitud, su tendencia y su indefinida repercusión sobre signos y síntomas en las personas no parecen ser un factor crítico en la contaminación atmosférica que enfrentan los habitantes, al menos durante la mayor parte del día.

La exposición a las altas dosis de contaminación atmosférica del medio día podría tener repercusiones más serias en quienes, por razones de su trabajo, deban permanecer en exteriores a merced del sol y de la contaminación primaria y secundaria que se genera en los centros urbanos con alta densidad de vehículos automotores.

Altura, temperatura y precipitación.

Los municipios del área metropolitana muestran similitud en relación con la altitud, aunque con un gradiente de 350 m entre los extremos sur y norte del Valle de Aburrá. Caldas se ubica a 1750 m sobre el nivel del mar. Barbosa es el municipio en el extremo norte con menor altura 1301 m.. Las temperaturas varían desde 19℃ al extremo sur, hasta 22℃ al extremo norte, c on un rango de variaciones promedio en temperatura de solo 3℃ (tabla 17).

Tabla 17. Altura sobre nivel del mar (m) y Temperatura promedio (ºC)

Municipio	Altura sobre nivel del mar (m)	Temperatura Promedio (ºC)
Caldas	1.750	19
Sabaneta	1.600	20
Estrella	1.763	20
Envigado	1.550	21
Itagüí	1.569	21
Medellín	1.538	22
Bello	1.495	22
Copacabana	1.407	22
Girardota	1.351	22
Barbosa	1.301	22

La temperatura es en general más alta en el primero que en el segundo semestre del año. (Gráfico 11A)

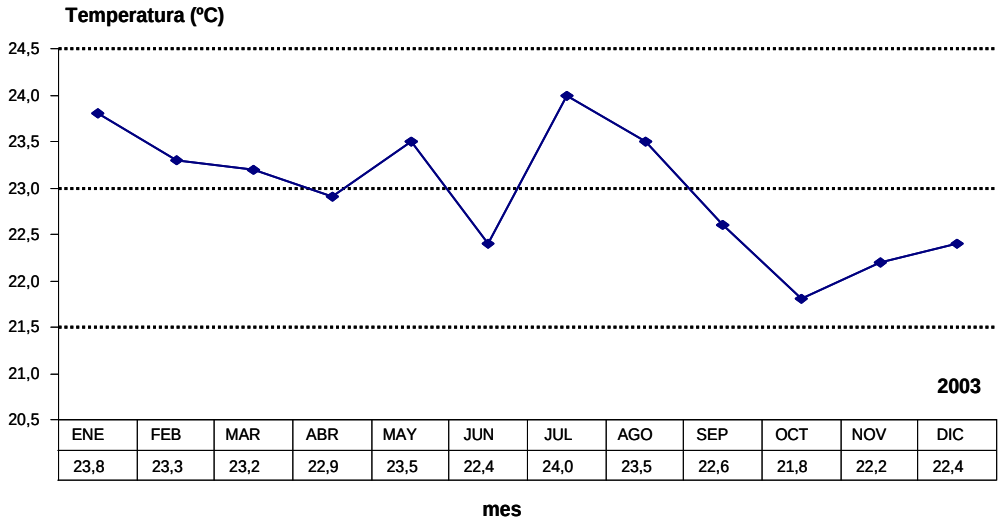


Gráfico 11A. Temperatura promedio mensual en estación Aeropuerto Olaya Herrera – Medellín, 2003

Las lluvias son más frecuentes en los extremos del Valle de Aburrá que en el centro. Caldas y Barbosa registran precipitaciones del orden de 2400 mm/año, en la región central la precipitación tiene niveles alrededor de 1500 mm/año. (Gráfico 11B)

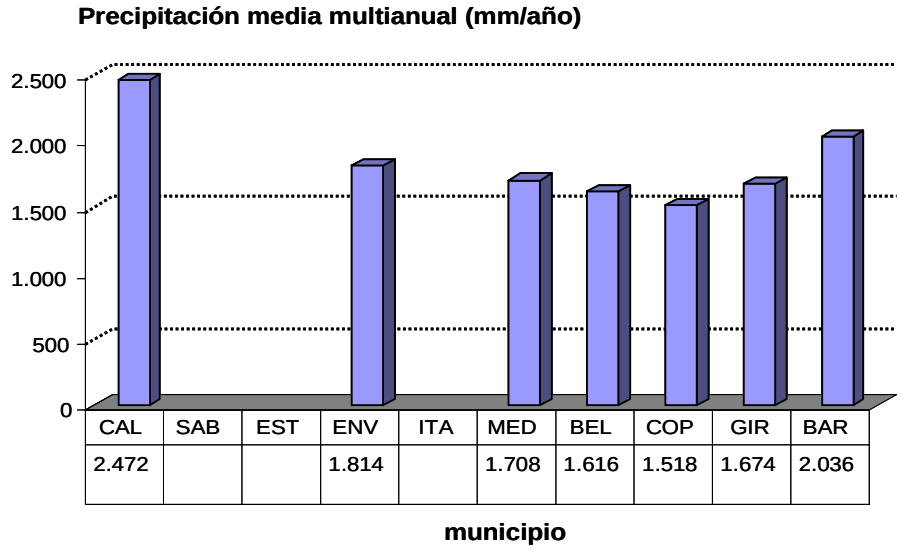


Gráfico 11B. Precipitación media por municipio

El ciclo anual de lluvias tiene un patrón bimodal característico con picos lluviosos en abril y octubre, y periodos secos en los meses de enero, febrero, junio y julio. (Gráfico 11C)

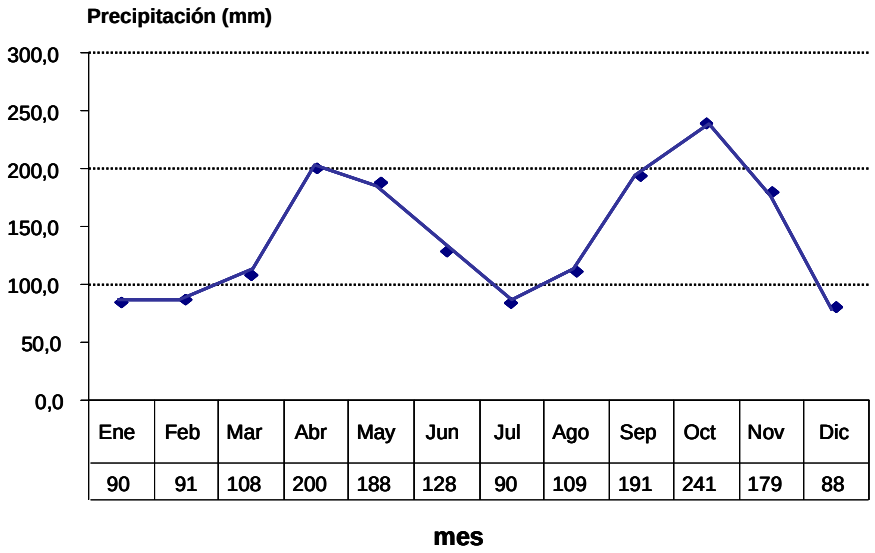


Gráfico 11C. Precipitación en la estación Aeropuerto Olaya Herrera Medellín. 2003 - 2005

discusión

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 total armonía con los picos del tránsito automotor en la ciudad. Esta variación tan armónica entre la contaminación atmosférica y la densidad del tránsito vehicular confirma 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 en los ambientes urbanos.

El ciclo diario del Ozono, con su característico ascenso unimodal señala la prevista interacción de contaminantes primarios con los rayos del sol los cuales, efectivamente, son más intensos alrededor del mediodía, por lo tanto la onda de contaminación por este subproducto fotoquímico ocurre en la mitad del periodo luminoso, cerca de la 12 horas meridiano.

El escenario para los habitantes de la ciudad es algo desalentador. En la mañana una gran onda de material particulado y Monóxido de Carbono, a medio día una gran onda de Ozono, y por la tarde otra onda más grande de humos y material particulado respirable (PST). Prácticamente todo el día las personas que habitan nuestros centros urbanos se ven obligadas a respirar aire contaminado sin que puedan evitarlo.

Los días de semana son más contaminados que los días domingos y festivos. Esta diferencia es muy clara y consistente. Desde el lunes hasta el viernes los niveles de contaminación son altos, el sábado el nivel es intermedio y los domingos y festivos son días de más baja contaminación. De nuevo la densidad de vehículos automotores circulantes aparece como el factor determinante. No obstante, llama la atención que aún en los días festivos un nivel remanente de contaminación revela que los contaminantes de partículas en suspensión pueden permanecer flotando en la atmósfera por horas y aún días y que las fuentes fijas que se generan en los procesos industriales, que no se detienen en las noches ni en los días festivos, también vierten en forma continua una dosis regular de contaminantes, que nunca permiten el disfrute de un aire completamente limpio en las ciudades.

También es aparente un ciclo anual, con valores más altos hacia los meses de marzo y octubre y valores más bajos hacia los meses de junio, julio, diciembre y enero. En primera instancia parecería que tal variación cíclica es de índole estacional por su regularidad a través de los años, sin embargo, dos hechos no concuerdan adecuadamente. Uno, los valores son más altos en períodos lluviosos, cuando se presume que el aire se lava por la lluvia y dos, la correspondencia en el primer semestre no concuerda con la del segundo semestre, con picos de abril y octubre. El ciclo de lluvias en el año tiene una estructura 6 - 6, en cambio el ciclo de contaminación tiene una estructura 5 - 7 con picos en marzo y octubre.

La interpretación del ciclo anual de contaminación entonces, más que un fenómeno estacional, nos parece que tiene tres explicaciones posibles.

Primero, tal como se hizo evidente en el ciclo diario y semanal, el factor determinante en la contaminación es el tránsito vehicular, por lo tanto, a lo largo del año también se registra una onda de densidad vehicular similar a la registrada para el material particulado, es decir, es más baja en los periodos de vacaciones (junio - julio) de mitad de año, y también en navidad y año nuevo (diciembre - enero). Un descenso precoz de la onda de contaminación en abril se explica también por el periodo de vacaciones de semana santa, cuando muchas personas dejan la ciudad y quienes quedan reducen sus actividades laborales.

En segundo lugar, hemos notado que los valores más altos de contaminación atmosférica por material particulado que se obtienen en los días lluviosos están afectados en alguna medida por la humedad que se retiene en los filtros, la cual no se remueve totalmente a través de métodos de desecación tradicional (proceso de absorción convencional en cabinas utilizando gránulos de silicato). La humedad no removida aumenta el peso de los filtros y conduce a valores más elevados, justamente en días lluviosos en los que se esperarían valores bajos por el efecto de lavado de la atmósfera que haría la lluvia.

Otra explicación convalida la presencia de valores elevados de contaminación durante épocas más frías y lluviosas por la ocurrencia más frecuente de episodios de inversión térmica, lo cual aumenta la permanencia de los contaminantes en la atmósfera sin que puedan ser removidos, dado que el sol no logra calentar la tierra y por lo tanto no genera corrientes ascendentes de aire caliente capaces de remover el material particulado.

Se plantea que también es posible la ocurrencia del fenómeno de resuspensión de partículas, las cuales serían levantadas y suspendidas de nuevo en el aire después de haber sido acumuladas en los sitios de mayor declive, donde las aguas de escorrentía, al terminar las lluvias, dejan pequeños charcos con algo de sedimento.

Las mediciones de material particulado obtenidas en el área metropolitana varían según el lugar donde se ubican y en relación con el nivel de contaminación atmosférica circundante, pero varían también en relación con la cercanía o distancia de las fuentes móviles o fijas a las cuales han sido situadas.

Una estación de muestreo está situada en la Universidad Nacional a unos 20 m de distancia de una vía transitada por numerosos vehículos y escasamente a 2 m de altura sobre el nivel de la carretera. Esta estación reporta constantemente valores de PST cercanos a 140 $\mu g/m^3$ a través de varios años. En tanto otra estación

situada en la Universidad de Antioquia, en un sector con características de densidad vehicular similares o incluso más críticas que las de la Universidad Nacional, reporta datos alrededor de 100 $\mu g/m^3$, pero su ubicación dista más de 150 m de los cruces congestionados donde se detienen los buses y además se ubica elevada unos 25 m dada su instalación encima de uno de los edificios internos en el campus universitario.

En una estación situada en el propio centro de la ciudad, donde la circulación de vehículos es incesante a lo largo de todo el día y donde podrían presumirse los más altos niveles de material particulado, se registran valores promedios en torno a 80 $\mu g/m^3$. El registrador, sin embargo, se sitúa encima de un edificio de 8 pisos, en un retiro vertical y horizontal que quizá dificultan la captación del hollín expelido por los automóviles, el cual además tendría que sortear otras barreras físicas para alcanzar el lugar de detección.

La distancia del detector a las fuentes de material particulado es sencillamente crucial en los niveles que se registran. En tanto más es la carga de partículas que son captadas y registradas en los filtros instalados y lógicamente en tanto más distantes están los detectores de los cruces vehiculares y de las chimeneas de las fábricas, más bajas son las captaciones de material particulado para el registro.

En Girardota el caso es bastante evidente. Dos estaciones proveen datos del municipio. Una de ellas colocada en las instalaciones amplias del liceo, a unos 80 m de la calle frontal por donde circula una discreta cantidad de vehículos, la mayoría livianos y algunos de tracción animal, los datos que se reportan oscilan alrededor de 50 $\mu g/m^3$. La otra estación, situada en las oficinas de Comfama en una mayor cercanía a la vía principal de acceso al municipio, a la carretera intermunicipal y a las fábricas circundantes, reporta regularmente cifras entre 80-90 $\mu g/m^3$.

El valor de la concentración de los contaminantes podría estar fácilmente subestimado por las estaciones que se hallan lejanas de la carretera y, en alguna medida, poco accesibles por su ubicación en terrazas de edificios y tras barreras físicas o naturales. Por lo tanto, para definir el valor de contaminación atmosférica más representativo del municipio, se requiere una buena comprensión del proceso de emisión y registro, de tal manera que se logre una adecuada interpretación de los resultados que reportan las estaciones.

La intencionalidad de la medición del material particulado es definitiva cuando se trata de definir el lugar donde va a registrarse. Desde el punto de vista de exploraciones atmosféricas macroambientales, es posible que las mediciones en lugares más altos den cuenta de los procesos de dilución y homogenización global de contaminación y ello permite referentes más estables de la concentración de contaminantes en amplias zonas geográficas.

No obstante, la intención epidemiológica de conocer los verdaderos niveles de exposición de las personas, precisa una medición justamente en los lugares donde estas viven, trabajan y deambulan, replicando la cercanía física de las fuentes de emisión y obteniendo los registros especialmente en los lugares críticos del espacio urbano.

A pesar de las limitaciones descritas para el registro de la concentración por material particulado es evidente que hay una tendencia lenta pero significativa al incremento de la contaminación en los últimos cinco años. Cada año el nivel de PST aumenta entre 3 y 5 µg/m^3. Este hallazgo resulta lógico si se analiza el aumento de vehículos automotores que circulan por la limitada red vial del área urbana, a la par con ello se registra un aumento de las construcciones de edificios. En lugares donde solo había una residencia de un piso, esta es demolida para dar paso a una torre de apartamentos donde vivirán decenas o centenas de personas. La densidad poblacional, por lo tanto, va aumentando en la ciudad, lo cual a su vez agrava el problema de cantidad de personas que estarán expuestas y habrán de respirar el aire cada vez más contaminado de su entorno excesivamente urbanizado. (gráfico 12A)

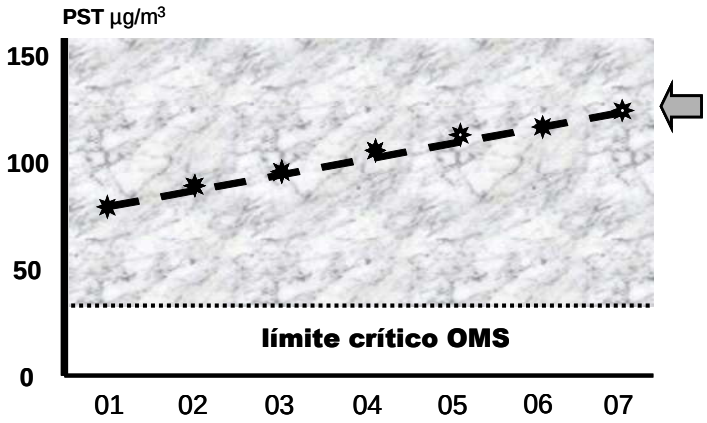


Grafico 12A. Niveles de Material Particulado Total (PST)

Las mediciones de material respirable PM_{10} efectivamente muestran la misma tendencia ascendente, en una tasa de aumento de 2 - 3 µg/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, especialmente buses y camiones, hacinados en el estrecho casco urbano. (gráfico 12B)

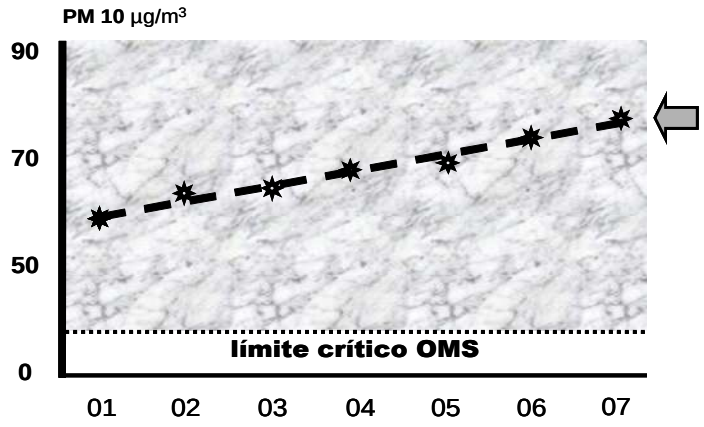


Gráfico 12B. Niveles de Material Particulado Respirable (PM_{10})

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. Las condiciones que propician el encantador y muy estable clima de primavera que ha hecho atractiva a la ciudad también determinan la estabilidad atmosférica para los contaminantes que se vierten en su espacio aéreo.

Lo que además resulta preocupante es el nivel de concentración de los contaminantes, el cual se sitúa muy alto 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. (gráficos 12A- 12C)

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

Para los Óxidos de Nitrógeno la situación es un poco menos crítica. Si bien se registra un aumento sostenido en los últimos años, los niveles son más bajos en comparación con el material particulado y todavía están cerca de los niveles de precaución planteados por la OMS. El incremento confirma el agravamiento de la densidad vehicular, pero señala también la atenuación que podría presentarse por la mayor facilidad de dispersión que tienen estos gases en la atmósfera. (gráfico 12C)

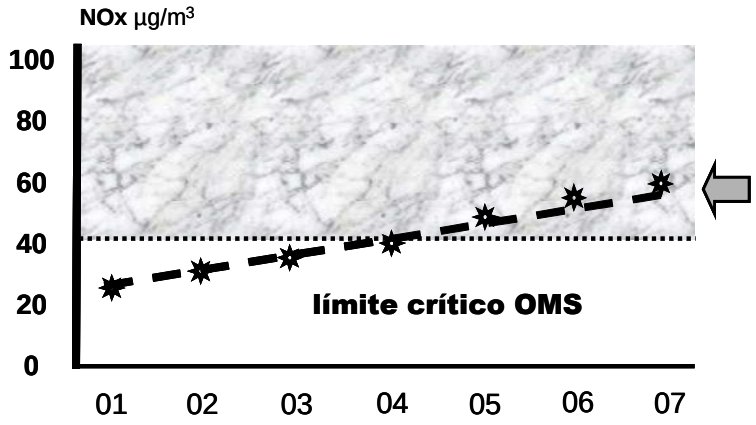


Gráfico 12C. Niveles de Óxidos de Nitrógeno (NO_x)

Los Óxidos de Azufre, de acuerdo con los datos obtenidos, se ubican en una progresión plana con cierta estabilidad. Los niveles están por debajo de los referentes para la protección de la salud en rangos que estarían incluso por fuera de la capacidad mínima de detección que tienen las técnicas de análisis químicos convencionales. (gráfico 12D)

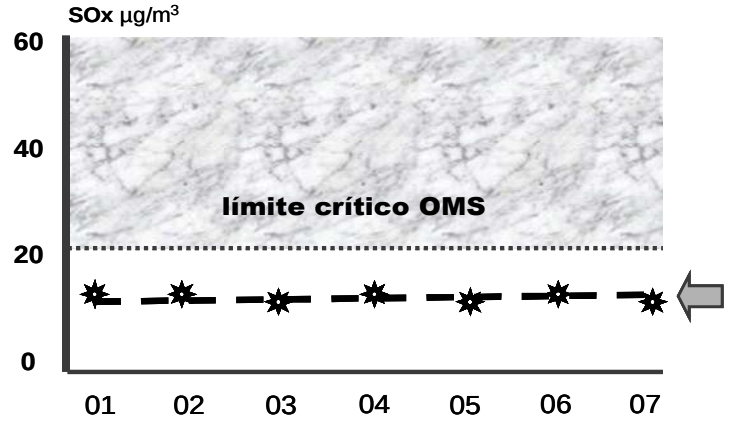


Gráfico 12D. Niveles de Óxidos de Azufre (SO_x)

El Monóxido de Carbono también se registra en valores que suelen estar por debajo de los niveles de advertencia para la salud y en una tendencia relativamente estable, aunque con picos ocasionales que ya conllevan riesgos para la salud y que ocurren en sitios y momentos de alta densidad vehicular. (gráfico 12E)

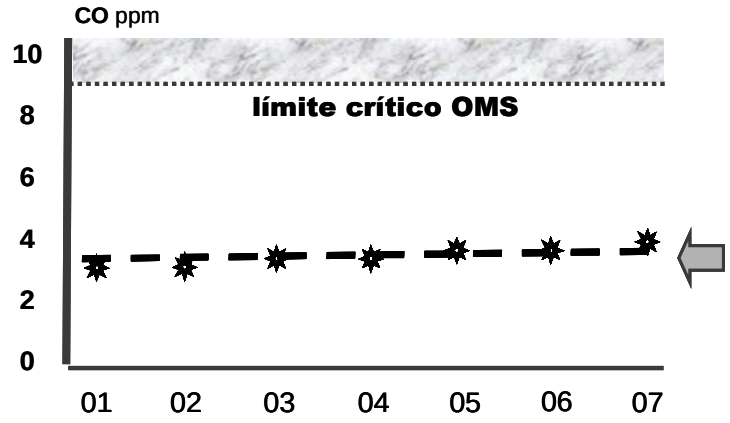


Gráfico 12E. Niveles de Monóxido de Carbono (CO)

El comportamiento de los gases NO_x, SO_x y CO revelan una situación más manejable y, de alguna forma, pueden ser producto de hechos favorables tales como la renovación del parque vehicular privado, los sistemas de catalizadores incorporados en los vehículos nuevos, las regulaciones normativas y el control de la emisión de gases, etc.

El Ozono, como contaminante secundario, aparece según los datos analizados como un factor agregado a la contaminación primaria y contribuye al riesgo de enfermar de las poblaciones que se exponen al aire citadino, especialmente en las horas del mediodía. Los niveles de contaminación por debajo de los límites de precaución sanitaria, ubicarían este contaminante en una posición menos crítica para la comunidad, en comparación con los demás contaminantes. No obstante, la ocurrencia cada vez más frecuente de episodios elevados que superan las normas horarias y octohorarias, confirma que la contaminación en Medellín y su área metropolitana está alcanzando niveles críticos que justifican la preocupación y la participación de todas las fuerzas vivas de la comunidad (gráfico 12F)

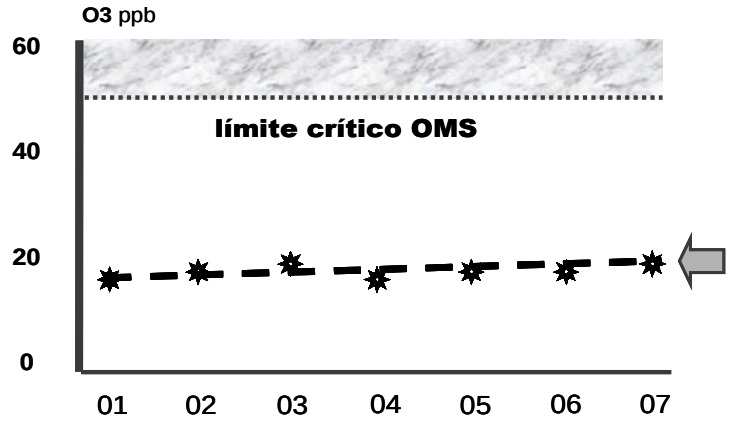


Gráfico 12F. Niveles de Ozono (O_3)

conclusiones

CONCLUSIONES

Los contaminantes primarios en la atmósfera varían, en general, conformando un ***ciclo diario*** con característica bimodal típica a lo largo de las 24 horas del día. Dos picos altos se presentan en coincidencia con los picos de congestión vehicular de la mañana (6 - 8 am) y de la tarde (5 - 7 pm). El resto del tiempo los valores cursan por los niveles basales, los cuales en el área urbana prácticamente nunca descienden por debajo de 20 $\mu g/m^3$.

El Ozono, por su parte, presenta un perfil de ciclo diario también característico con valores basales muy bajos durante las primeras horas de la mañana y últimas de la tarde, pero con una elevación marcada hacia el mediodía, cuando la acción de los rayos solares es máxima.

Las emisiones de los automotores, especialmente los humos negros producidos por vehículos grandes que transportan pasajeros o carga y que operan con combustible diesel, resultan ser los grandes contaminantes por material particulado.

La contaminación además tiene un ***ciclo semanal***, en armonía con la densidad del tránsito vehicular. Presenta valores altos sostenidos en los días laborales de la semana y se reduce un poco en los sábados y alcanza los valores basales en domingos y festivos.

Los datos revelan un ***ciclo anual*** para la contaminación atmosférica, aparentemente en sincronía con los ciclos de lluvias y verano. Aumenta en los meses lluviosos y desciende en los meses secos. Tal comportamiento ilógico en relación con las lluvias puede representar un artefacto secundario al método gravimétrico utilizado para pesar los filtros de recolección de partículas los cuales portarían un exceso de humedad que no puede ser removida totalmente en los procesos de desecación utilizados.

La velocidad de los ***vientos*** en el centro del Valle del área metropolitana es baja, lo cual desfavorece la remoción de los contaminantes que se emiten y por lo tanto incrementa la exposición de los habitantes a cargas de material particulado que permanecen con cierta homogeneidad y estabilidad en el contorno urbano.

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

Si consideramos el ***material particulado respirable (PM_{10})*** el diagnóstico se confirma en su tendencia ascendente y en sus niveles muy altos (70 µg/m^3) con respecto al umbral de precaución fijado por la OMS (20 µg/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 µg/m^3) ya superan los niveles de 40 µg/m^3 definidos para la protección de la salud.

Los ***Óxidos de Azufre (SO_x)*** se mantienen en una tendencia estable o levemente en descenso, justo al límite por debajo de los niveles de precaución (20 µg/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)*** muestra una tendencia errática dada su alta volatilidad. En los últimos años los datos excursionan en forma fluctuante alrededor de los 2-7 ppm y ocasionalmente superan el umbral de advertencia sanitaria (9 ppm) en sitios congestionados y poco ventilados.

El ***Ozono*** en general se sitúa por debajo de los límites de seguridad (40 ppb). Sin embargo, la ocurrencia de episodios críticos en sitios congestionados del área urbana implica riesgo para las personas expuestas.

La calidad del aire en Medellín y su área metropolitana, desde el punto de vista del material particulado respirable, no es buena y debe estar generando consecuencias indeseables en la salud de sus habitantes. Para otros contaminantes primarios y secundarios las concentraciones son más bajas, aunque también implican un riego 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 la más grave afrenta contra la salud de los habitantes de Medellín y su área metropolitana, no solamente por su reconocida capacidad para generar enfermedades cardiorrespiratorias, sino también por las altas concentraciones que se alcanzan en un valle pobremente ventilado y por su tendencia al ascenso.

La estructuración de un programa eficiente y 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.

bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

1. ACGIH. TLVs and BEls, threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Cincinatti: 2005.
2. ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry; [Sitio en Internet]. http//www.atsdr.cdc.gov/es/es index html 2002. Feb 2006.
3. Bromberga P, Korenb H. Ozone-induced human respiratory dysfunction and disease. Toxicol Lett 82/83 (1995) 307 – 316.
4. CEPIS. Curso de orientación para el control de la contaminación del aire. [Sitio en Internet]. http://www.cepis.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta/lecc4/lecc4_mp.html.
5. Contraloría General Medellín. "La Contaminación está Afectando la Salud de la Población". El Reto el Medio del Medio Ambiente. Medellín 2005; 57: 19 - 23.
6. Della C, López-silva J. Vulnerability to air pollution in Latin America and the Caribbean Region. Sustainable development working paper N° 28. Septem ber 2006.
7. Enkerlin E., Cano G., Garza R., Vogel E. Ciencia ambiental y desarrollo sostenible. México: Internacional Thomson. 1997. 690p
8. Hussein T, Hameri K, Aalto P, Asmi A, Kakko L, Kulmala M. Particle Size Characterization and the Indoor-autdoor Relationship of Atmospheric Aerosols in Helsinki. Scand. J. Work Environ Health 2004; 30 (2): 54-62.
9. 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
10. Nevers N. Ingeniería de control de la contaminación del aire. México: Mc Graw- Hill Interamericana 1998. 546 p.
11. OMS. Informe sobre la salud en el mundo 2002. Organización Mundial de la Salud Ginebra. 2002.
12. 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.
13. 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.
14. Pineda L, Ávila L. Análisis sobre los aspectos ambientales del Valle de Aburrá. Planeación Metropolitana 1992; 6: 131-158.
15. 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.
16. 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.
17. Pope ll CA. Health Effects of Particulate Air Pollution: Time for Reassessment? Environmental Health Perspectives. 1995; 103:472-480.
18. Radian internacional LLC. Manuales del programa inventarios de emisiones de México. Desarrollo de inventarios de emisiones de fuentes de área. México: 1997; 3.
19. Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá. Boletines No. 6 de 2001 hasta el No. 17 de 2005. Medellín.
20. Sarmiento I. Congestión vehicular en Medellín. Foro de El Colombiano, Mayo 12 de 2006. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín.
21. UPB, 2005. Contrato 158 de 2005. Índice de Calidad el Aire, Aplicación para la Red de Monitoreo de Calidad del Aire. Universidad Pontifica Bolivariana - Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2005.
22. WHO Air Quality Guidelines Global Update 2005. Bonn, Germany. http://www.euro.who.int/ document/E87950.pdf.

Este documento hace parte del informe final del proyecto de investigación
Contaminación Atmosférica y Efectos en la Salud, realizado por el grupo de Epidemiología, línea de Prevención y Promoción de la Salud, y financiado por Municipio de Medellín, Municipio de Itagüí, Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Universidad de Antioquia.
Convenio interadministrativo 477/05.

El contenido académico es responsabilidad de los autores que lo suscriben y no compromete a las entidades participantes.

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Y EFECTOS SOBRE LA SALUD DE LA POBLACIÓN

Medellín y su área metropolitana

Efectos en la Salud

documento 3 de 4

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
1803

Alcaldía de Medellín **Alcaldía de Itagüí**

Área METROPOLITANA del Valle de Aburrá

Contaminación Atmosférica y Efectos en la Salud de la población de Medellín y su área metropolitana

Elkin Martínez López
Carlos Mario Quiroz
Fernando Daniels Cardozo
Alexandra Montoya Espinosa

Centro de Investigaciones
Facultad Nacional de Salud Pública
Universidad de Antioquia
Medellín. Colombia
2007

CONTENIDO

pag.

Introducción …….. 7

Marco Teórico ……... 11

- Efectos en la salud por contaminantes atmosféricos
- Efectos por exposición a material particulado
- Efectos por exposición a Monóxido de Carbono
- Efectos por exposición a Óxidos de Nitrógeno
- Efectos por exposición a Óxidos de Azufre
- Efectos por exposición a Ozono
- Sinergias
- Estudios epidemiológicos
- Efectos en morbilidad
- Efectos en mortalidad
- Ámbito regional
- Ámbitos nacional y local

Objetivos …… 31

- Objetivo General
- Objetivos Específicos

Métodos …….. 35

- Diseño
- Población objeto de estudio
- Criterios de inclusión
- Criterios de exclusión
- Muestra
- Técnicas y procedimientos
- Instrumentos
- Datos de mortalidad
- Plan de análisis
- Encuesta

Resultados …….. 43

- Impacto y Percepción
- Función Respiratoria
  - Variables espirométricas estudiadas
  - Variables respiratorias y sexo
  - Riesgo relativo
  - Riesgo relativo y hábito de fumar
- Morbilidad
  - Síntomas Respiratorios
  - Síntomas Neurosicológicos
- Mortalidad
  - Mortalidad general
  - Mortalidad cardiopulmonar
  - Mortalidad por enfermedades respiratorias crónicas
  - Mortalidad por cáncer de pulmón
  - Mortalidad en Medellín, Valle de Aburrá y Colombia
  - Correlación material particulado – cáncer de pulmón

Discusión …… 93

Conclusiones …….. 101

Bibliografía …….. 106

introducción

INTRODUCCIÓN

Se ha demostrado que la contaminación atmosférica tiene efectos desfavorables para la salud. Los estudios epidemiológicos en todo el mundo han reportado aumento en la mortalidad y en la morbilidad por exposición a diversos contaminantes presentes en el aire de las grandes concentraciones urbanas.

La contaminación del aire es una amenaza aguda, acumulativa y crónica para la salud y otros aspectos del bienestar humano y del ambiente. Puede provocar o agravar afecciones respiratorias y cardiovasculares, y es especialmente dañina para personas con enfermedades crónicas, mujeres embarazadas, ancianos y niños. Los trabajadores y la población que permanece por largos periodos en exteriores contaminados son grupos humanos de alto riesgo.

Las grandes ciudades propician la concentración de personas y actividades, lo cual plantea serios retos para la convivencia humana. Si una persona arroja un residuo tóxico al ambiente, alguien, en alguna parte, sufrirá el efecto de tal acción. Este problema es más evidente cuando muchas personas conviven en lugares reducidos, como ocurre en los asentamientos urbanos del mundo en desarrollo.

Los procesos industriales y el transporte en vehículos automotores obtienen la energía a partir de procesos de combustión de materiales fósiles, lo cual infortunadamente se acompaña de residuos o subproductos nocivos para la salud que son vertidos al entorno aéreo, donde respiran cientos, miles o aún millones de conciudadanos.

Las normas y leyes que regulan las emisiones de sustancias contaminantes a la atmósfera son un tanto tolerantes, dado que los intereses económicos y políticos que respaldan las actividades productivas contaminantes ejercen una poderosa influencia en su definición. Solo la generación de una evidencia real, sólida y contundente puesta en manos de las autoridades competentes y responsables podría confrontar tales intereses y sería tal vez la herramienta que se requiere para hacer prevalecer el bienestar y la salud de la población general por encima de los intereses económicos de unos pocos.

La ciudad genera información acerca de la naturaleza y magnitud de la contaminación por material particulado, pero no cuenta con evidencia cuantificada de la magnitud de los efectos sobre la salud y de la asociación que existe entre la contaminación y las manifestaciones de enfermedad y muerte que ocurren en la población expuesta.

La provisión de tal evidencia para la comunidad de Medellín y su área metropolitana es el objetivo del presente estudio.

marco teórico

MARCO TEÓRICO

El Banco Mundial en su iniciativa de Aire Limpio y la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el Plan Regional sobre Calidad del Aire Urbano y Salud para el período 2000 – 2009, plantean dentro de sus planes de acción la vigilancia del impacto de la contaminación del aire sobre la salud. Así, países como Chile y México tienen normatividad de obligatorio cumplimiento (Decreto Supremo No. 185 de los Ministerios de Minería, Agricultura y Salud y NOM-097-ECOL-1995, respectivamente) en la vigilancia y el control de las fuentes de factores de riesgo y efectos relacionados.

Los efectos por material particulado respirable en la población se manifiestan principalmente como: muertes prematuras, aumento en la frecuencia de cáncer pulmonar, síntomas respiratorios severos, irritación de ojos y nariz, irritación de vías respiratorias, bronco constricción.[1] Se suma a estos efectos otros factores de exposición (partículas y gases), pobreza, desigualdad social, hábitos alimenticios, estilos de vida y el contexto socioeconómico, que participan en la génesis de la enfermedad.

Los diferentes contaminantes del aire que se encuentran en las grandes ciudades, han sido relacionados mediante numerosas investigaciones, con un mayor riesgo de enfermar y morir por enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Es frecuente encontrar informes de las diferentes instituciones públicas y privadas encargadas de vigilar la calidad del aire en las grandes ciudades, en los cuales se da cuenta del incremento de las concentraciones de contaminantes ambientales, excediendo las normas de calidad del aire.[2]

La causa de esta contaminación está determinada principalmente por el uso que los vehículos automotores hacen de combustibles fósiles para actividades de transporte en las grandes ciudades.

La evidencia de numerosos estudios en diferentes partes del mundo relaciona las altas concentraciones de contaminantes del aire con efectos agudos y crónicos en la salud. El exceso de mortalidad por causas cardiovasculares, respiratorias, cáncer de pulmón e infecciones respiratorias agudas en los niños ha sido asociado con la presencia de niveles de contaminantes que exceden las normas de calidad del aire exterior. [3]

Además de las consecuencias sobre la salud, la contaminación genera otros efectos directos e indirectos relacionados con la productividad, la reducción de la calidad de vida y el impacto económico por pérdida de días laborales y de producción.

Efectos en la salud por contaminantes atmosféricos

Las numerosas investigaciones realizadas en todo el mundo han evidenciado asociación positiva entre la concentración de los contaminantes en el aire (material particulado, SO_2, NO_X, CO y O_3) y efectos negativos en la salud de las personas. [1]

Con referencia a los compuestos orgánicos volátiles y a los hidrocarburos policíclicos aromáticos, como otros contaminantes, no ha sido bien documentado el impacto en la salud.

Los grupos más susceptibles a los efectos adversos de la contaminación del aire son los niños, los ancianos y aquellos grupos con enfermedades cardíacas o respiratorias. Los efectos en la salud incluyen: incremento en los síntomas respiratorios, disminución en la función pulmonar, incremento en la hospitalización y consultas médicas por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, incremento de la morbilidad respiratoria, en el ausentismo laboral y escolar por restricción de las actividades y en la mortalidad por enfermedad cardiovascular. [4]

Sin tener unos estándares o límites concretos que permitan identificar cuando se dan o cuando no se dan efectos adversos, la American Thoraxic Society (ATS) sugirió algunos factores de riesgo, los cuales podrían permitir definir un efecto respiratorio negativo por exposición a contaminación ambiental. Estos efectos propuestos por la ATS son:

- Efectos en la mortalidad
- Efectos perceptibles clínicamente
- Cualquier efecto perceptible en pérdida permanente de la función pulmonar
- Disminución de la calidad de vida relacionada con la salud
- Pérdida reversible de la función pulmonar y presencia de síntomas
- Un cambio en la distribución del factor de riesgo
- Un cambio en el perfil de riesgo de la población expuesta

La definición de efectos adversos ha sido necesaria aclararla y al respecto la Organización Mundial de la Salud en 1978 y en 1994 lo ha analizado, haciendo recientemente la siguiente definición “un efecto adverso es cualquier cambio en la morfología, fisiología, crecimiento, desarrollo o lapso de la vida de un organismo, que resulta en un perjuicio de la capacidad funcional, o perjuicio en la capacidad de compensar un estrés adicional, o aumenta la sensibilidad a los efectos dañinos de otras influencias ambientales”. [5]

La población en riesgo se considera que es la parte de la población total que está expuesta a crecientes condiciones de contaminación, donde se podrían incluir grupos susceptibles (niños, ancianos, enfermos con afecciones cardiovasculares,

asma, EPOC, desnutrición, deportistas al aire libre). La susceptibilidad puede variar con condiciones como la accesibilidad a los servicios de salud, las diferencias genéticas, las condiciones nutricionales, los estilos de vida.

Normalmente se identifican condiciones que conducen a un mayor riesgo o deterioro en la salud de las personas. Algunas características evidenciadas son las siguientes:

- Concentración en el ambiente
- Estándares de calidad del aire
- Tamaño de la población expuesta
- Tamaño de la población en riesgo y/o susceptible
- Exposición total de las personas
- Tiempo en los diferentes ambientes
- Vías de exposición (aire)
- Condiciones adicionales (fumador activo, fumador pasivo)

La exposición de los seres humanos ocurre generalmente en algunos casos por periodos cortos u ocasionales a gran cantidad de contaminante lo que se consideraría una exposición aguda o durante un tiempo prolongado a concentraciones bajas (exposición crónica).

El problema de la exposición crónica plantea un problema de percepción debido a que los signos y síntomas no tienen una manifestación grave, pasando desapercibidos o ser fácilmente confundidos con otro tipo de enfermedad, (rinitis, virosis respiratoria, alergia respiratoria, sinusitis, faringitis alérgica, bronquitis inespecífica, etc). Su manejo implica consecuencias económicas para el sistema de seguridad social, el trabajador, su familia y el sistema económico (incremento del número de consultas, incapacidades, pago de supernumerarios para reemplazar el incapacitado, paro en la producción, disminución de la producción por las ausencias, etc.)

En la exposición crónica se da otro problema, la mezcla de contaminantes, los cuales en combinación conllevan la interacción de diversas sustancias entre sí, generándose situaciones de potenciación de los efectos, adición o incremento de estos o posiblemente en algunos casos, antagonismo de efectos lo que disminuiría el efecto en la persona expuesta.

Lo anterior platea entonces que en ningún momento se debe considerar que existen concentraciones sin riesgo, pues al existir mezcla de contaminantes, al desconocer sus efectos aditivos o potencializadores como mezcla y al desconocer que tiempo se tiene de exposición para la aparición de efectos, el riesgo no tiene una medida que nos permita identificar la presencia posible de efectos. [4]

Efectos por exposición a Material Particulado

Se ha reportado que existe un incremento del riesgo de morir por exposición a material particulado en áreas con aumento en las concentraciones de éste y se ha encontrado que las altas concentraciones de este contaminante están asociadas con la mortalidad diaria y las admisiones hospitalarias. (tabla 1)

Tabal 1. Efectos en la salud humana por exposición a material particulado

Concentración ($\mu g/m^3$)	Efecto observado	Impacto
200	Disminución capacidad respiratoria	Moderado
250	Aumento de enfermedades respiratorias en ancianos y niños	Moderado
400	Afecta a toda la población	Grave
500	Aumento de mortalidad en adulto mayor y enfermos	Muy grave

Fuente: Los efectos sobre la salud, según la Organización Panamericana ...
www.ucbcba.edu.bo/carreras/ingma/actividades/peaton2/peaton2000salud.htm.

Personas con enfermedad pulmonar o cardiaca, pero no con un diagnóstico específico de infarto al miocardio (IM), diabetes, ICC, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), o desórdenes de conducción cardiaca tuvieron un incremento del 0,74% en el riesgo de morir por exposición a concentraciones crecientes de material particulado. Personas con IM incrementaron el riesgo en 2.7 veces y quienes tenían diabetes aumentaron al doble el riesgo de morir, concluyéndose que en una población frágil los individuos con diagnóstico de IM o diabetes tuvieron un mayor riesgo de morir asociado con altas concentraciones de material particulado. Según el artículo, estos resultados sugieren que la susceptibilidad al daño podría derivarse de un daño previo vascular a nivel del corazón. [6]

Dos de los estudios más completos y publicados a mediados de los años noventa que relacionan partículas finas con mortalidad, son el "Estudio de las Seis Ciudades" de la Universidad de Harvard y el de la Sociedad Americana del Cáncer (ACS), a pesar de ser criticados por la industria y por algunos científicos que pusieron en duda la existencia de una conexión causal entre partículas finas y mortalidad.

Estas críticas a su vez impulsaron otras dos investigaciones: a) un re-análisis de las "Seis Ciudades" y el trabajo de la ACS y b) el Estudio Nacional de Morbilidad, Mortalidad y Contaminación del aire (NMMAPS) que fue una investigación completamente nueva acerca de las hospitalizaciones y muertes asociadas con la contaminación del aire en las mayores ciudades de Estados Unidos. [7]

Los re-análisis hechos por investigadores independientes validaron los estudios originales, confirmando así que se trataba de ciencia con base sólida. Además el NMMAPS encontró fuerte evidencia en las veinte ciudades más grandes de

Estados Unidos, que relaciona el aumento diario de partículas en el aire con aumento en la admisión de hospitalizaciones por enfermedades cardiovasculares, neumonía y enfermedades obstructivas pulmonares crónicas. Estos resultados no dejan duda de que los norteamericanos están corriendo un serio riesgo debido a las partículas contaminantes ambientales.

Efectos por exposición a Monóxido de Carbono

El monóxido de carbono causa daño al reaccionar con la hemoglobina de la sangre, formando carboxihemoglobina (COHb). El CO se une a la hemoglobina aproximadamente 220 veces con mayor intensidad que el oxígeno, de modo que pequeñas cantidades de este gas en el aire que se respira pueden hacer que cantidades significativas de la hemoglobina formen COHb. La hemoglobina así combinada no puede desempeñar su función normal como es la de transportar oxígeno en la sangre (como Oxihemoglobina, O_2Hb). Como la sangre presenta un déficit en el transporte de oxígeno en el organismo se ocasiona déficit de oxígeno en los tejidos produciéndose efectos negativos en las personas. (tabla 2)

Tabla 2. Efectos en la salud humana por exposición a Monóxido de Carbono

% de la hemoglobina de la sangre convertida en COHb	Efectos
0,3 – 0,7	Norma fisiológica para los no fumadores.
2,5 – 3,0	Decrementos en la función cardiaca en individuos con algún padecimiento; alteraciones en el flujo sanguíneo y, después de una exposición prolongada, cambios en la concentración de glóbulos rojos.
4,0 – 6,0	Deterioros visuales, disminución en la capacidad de percepción de estímulos, capacidad laboral reducida.
6,0 – 8,0	Valores de rutina en los fumadores, quienes producen más glóbulos rojos para compensar.
10,0 – 20,0	Dolor de cabeza ligero, languidez, falta de aliento para realizar esfuerzos, dilatación de las células sanguíneas en la piel, visión anormal, daño potencial a los fetos.
20,0 – 30,0	Dolores de cabeza severos, náuseas, destreza manual anormal.
30,0 – 40,0	Músculos débiles, náusea, vómito, oscurecimiento de la visión, dolores de cabeza severos, irritabilidad y capacidad disminuida de discernimiento.
50,0 – 60,0	Desmayo, convulsiones, coma.
60,0 – 70,0	Coma, actividad cardiaca y respiración deprimida, a veces mortal
> 70,0	Mortales.

Fuente: De Nevers Noel, 1997 p. 503.

Efectos por exposición a Óxidos de Nitrógeno

La población general está expuesta a los óxidos de nitrógeno, principalmente al respirarlos en el aire. La gente que vive cerca de fuentes de combustión o donde existen cantidades significativas de vehículos puede estar expuesta a niveles de óxidos de nitrógeno más elevados.

Las viviendas que utilizan madera como combustible o que usan calentadores de querosén y cocinas de gas tienden a tener niveles de óxidos de nitrógeno más altos en su interior. Los óxidos de nitrógeno están también presentes en el humo de tabaco, por lo tanto, los fumadores activos o quienes están a su lado cuando ellos fuman están expuestos a este contaminante

Los niveles importantes de óxidos de nitrógeno en el aire pueden irritar los ojos, la nariz, la garganta, los pulmones y posiblemente causar tos y una sensación de falta de aliento, cansancio y náusea, también pueden producir acumulación de líquido en los pulmones 1 ó 2 días luego de la exposición. Respirar altos niveles de óxidos de nitrógeno puede producir quemaduras, espasmos y dilatación de los tejidos en la garganta y las vías respiratorias superiores, reduciendo la oxigenación de los tejidos del cuerpo, produciendo acumulación de líquido en los pulmones y la muerte. Cuando la piel o los ojos entran en contacto con altas concentraciones de monóxido de nitrógeno gaseoso o dióxido de nitrógeno líquido probablemente sufrirían quemaduras graves. [8]

De acuerdo con las concentraciones de NO_x en el ambiente hay evidencias que sugieren un efecto de los contaminantes fotoquímicos sobre las infecciones, se dice que pueden provocar respuesta inflamatoria y dañar los macrófagos alveolares con el consiguiente incremento del riesgo de infecciones pulmonares. [5] (tabla 3)

Tabla 3. Efectos en la salud humana por exposición a Dióxido de Nitrógeno.

Concentración (ppm)	Tiempo de exposición	Efecto observado
5	14 hrs.	Individuos normales: Incremento de la resistencia de las vías aéreas, aumento de la hiperreactividad bronquial.
2,5	2 hrs.	Individuos normales: Incremento de la resistencia de las vías aéreas.
1	2 hrs.	Individuos normales: Pequeño cambio en CVP*
0,5	3-60 min.	Individuos con bronquitis crónica: Incremento de la resistencia de las vías aéreas.
<0,5	20 min.	Individuos asmáticos, con 10 min. de ejercicio moderado: Disminución de FEV1**
*CVF: Capacidad vital forzada ** FEV1: Tasa máxima de flujo espiratorio		

Fuente: Los efectos sobre la salud, según la Organización Panamericana… www.ucbcba.edu.bo/carreras/ingma/actividades/ peaton2/peaton2000salud.htm.

Efectos por exposición a Óxidos de Azufre

Al penetrar en las vías respiratorias destruye los cilios del epitelio del sistema pulmonar, que tienen la función de evacuar partículas de polvo y aerosol de los bronquios. Este efecto es especialmente manifiesto en los niños, que pueden desarrollar una enfermedad aguda, que se manifiesta por una tos seca y fiebre, y en casos extremos puede producir la muerte por asfixia.

El dióxido de azufre afecta los ojos y la piel, las personas afectadas con mayor frecuencia por la exposición son los trabajadores de las plantas en las cuales el dióxido de azufre se produce como derivado (industria de la fundición del cobre). El dióxido de azufre se transforma dentro del organismo en un producto de descomposición que se mide en sangre y orina. Cuando alcanza las 20 ppm produce una fuerte irritación en ojos, nariz, garganta, incrementa la crisis asmática y recrudece las alergias respiratorias. Si la concentración y el tiempo de exposición aumentan se producen afecciones respiratorias severas. Una exposición a 400 - 500 ppm, aunque sea corta, puede resultar fatal para el organismo al producir y agravar padecimientos cardiovasculares. [9] (tabla 4)

Tabla 4. Efectos en la salud humana por exposición a Dióxidos de Azufre

Concentración en 24 horas ($\mu g/m^3$)	Efecto observado
400-900	Posible incremento de los síntomas respiratorios (tos, irritación de la garganta y silbidos en el pecho) en personas con asma.
900-1700	Incremento de los síntomas respiratorios en personas con asma y posible agravamiento de las personas con enfermedades pulmonares y cardíacas.
1700-2300	Incremento significativo de los síntomas respiratorios en personas con asma y agravamiento de las personas con enfermedades pulmonares cardíacas.
2300-2900	Síntomas respiratorios severos en personas con asma y riesgo serio de agravamiento de las personas con enfermedades pulmonares y cardíacas.
>2900	Cambios en la función pulmonar y síntomas respiratorios en individuos sanos.

Fuente: Los efectos sobre la salud, según la Organización Panamericana ...
www.ucbcba.edu.bo/carreras/ingma/actividades/ peaton2/peaton2000salud.htm.

Efectos por exposición a Ozono

Los síntomas de la exposición a concentraciones bajas de ozono comprenden irritación de los ojos, la nariz, la garganta y los pulmones. Estos síntomas se observan al cabo de tan solo 10 a 30 minutos de exposición. En concentraciones más altas se presentan problemas respiratorios y de tos. Las concentraciones aún más altas causan dolor en el pecho y neumonía. Los individuos que padecen

enfermedades pulmonares, como asma y enfisema son más sensibles a niveles más bajos de ozono. En la tabla se observa un resumen de éstos efectos de acuerdo con la concentración y el tiempo que se esté expuesto. [10] (tabla 5)

Tabla 5. Efectos en la salud humana por exposición a Ozono

Concentración (ppm)	Tiempo de exposición	Efecto observado
0.08 – 0,15		Tos y dolor de cabeza
0,12	1 - 3 horas	En individuos sanos, durante el ejercicio: Disminuye la Tasa Máxima de Flujo respiratorio y la Capacidad Vital Forzada. Incrementa la sensibilidad de las vías aéreas, lo cual podría significar un aumento en la respuesta a otros contaminantes.
0,12	2 - 5 horas	Disminución de la función pulmonar en niños y adultos, durante ejercicio fuerte
0,24	1 - 3 horas	En individuos sanos, durante el ejercicio: Incremento en la frecuencia respiratoria, disminución en la resistencia de las vías aéreas, disminución de la función pulmonar.

Fuente:www.ucbcba.edu.bo/carreras/ingma/actividades/peaton2/peaton2000salud.htm

En la ciudad de Madrid (España) se estudió la relación de la contaminación por ozono y la mortalidad en un grupo de menores de 10 años. Los resultados mostraron falta de asociación entre estas dos variables, a pesar de que se conocía que el ozono reduce la capacidad pulmonar y agrava las enfermedades respiratorias. La razón que se sustentó planteó que las concentraciones en Madrid (media diaria y anual) están por debajo de los niveles que se han establecido como dañinos. [10]

Sinergias

Debe tenerse en cuenta que existen fenómenos de sinergia y potenciación de los efectos dañinos de los contaminantes, particularmente sobre el aparato respiratorio y, de manera especial, entre los óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y ozono. Esto obliga a que en determinadas circunstancias deban tomarse precauciones especiales de protección de la población, aun cuando los niveles de cada uno de estos contaminantes no justifiquen por sí solos tales medidas.

En el año 2005 el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, por medio de convenio con la Universidad Pontifica Bolivariana realizó la modificación del Índice de Calidad del Aire utilizado, para lo cual se definió que se debía utilizar el Índice de Calidad Atmosférica (AQI), este se caracteriza por su relación directa entre los niveles de concentración de los contaminantes y los efectos en la salud.

Este indicador al igual que el ICA fue desarrollado por la EPA, y de acuerdo con su última revisión del año 1998 incluía seis contaminantes: monóxido de carbono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, PM_{10}, $PM_{2.5}$ y ozono.

El AQI convierte la concentración media de uno o varios contaminantes a una escala que va de cero a quinientos, teniendo en cuenta los tiempos de exposición. Por ejemplo si el PM_{10} tiene una concentración de 155 -254 $\mu g/m^3$ el rango AQI que se le da es de 101 -150, cuyos efectos en la salud se observan en la tabla 6.

Tabla 6. Categoría de calidad para el AQI y sus efectos en la salud

Valores AQI	Descripción de la Calidad del Aire	Problemas para la salud
0 a 50	Buena	La calidad del aire se considera satisfactoria y la contaminación atmosférica plantea poco o nada de riesgo.
51 a 100*	Moderada	La calidad del aire es aceptable, Usualmente los individuos sensibles pueden experimentar efectos respiratorios debido al prolongado esfuerzo al aire libre especialmente cuando es extraordinariamente sensitivo al ozono.
101 a 150	Inadecuada para grupos sensibles	Miembros de grupos sensibles pueden experimentar síntomas respiratorios (tos, dolor, cuando se respira profundamente). Este nivel no presenta afecciones para el público en general.
151 a 200	Mala Peligrosa	Miembros de grupos sensibles tienen más posibilidades de experimentar síntomas respiratorios (tos y dolor agravados), y reducción de la función de los pulmones.
201 a 300	Pésima Muy Peligrosa	Miembros de grupos sensible experimentan síntomas respiratorios severos y respiración débil. Se debe usar una alarma para prevenir efectos en salud de toda la población, pues todos pueden presentar problemas serios.
301 y más	Crítica Peligroso	Los valores son peligrosos, es muy probable que la población entera sea afectada. Miembros de grupos sensible experimentan síntomas respiratorios severos y respiración débil.

Fuente: Contrato 158 de 2005. Índice de Calidad el Aire, Aplicación para la Red de Monitoreo de calidad del Aire. Universidad Pontifica Bolivariana – Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2005.

Estudios epidemiológicos

Los primeros estudios sobre los efectos de la contaminación del aire en la salud de la población documentaron episodios dramáticos de exposiciones a elevadas concentraciones de contaminantes como la denominada “nube de Londres” que causó más de 4.000 muertes en 1952. Sin embargo, los estudios subsecuentes, realizados principalmente a partir de los años 1980, han estado orientados a la estimación de cambios más sutiles en la salud provocados por niveles comunes de contaminación a los cuales se está expuesto en las ciudades modernas donde vivimos.[11] Estos estudios han logrado establecer un vínculo inequívoco entre la morbilidad y mortalidad por enfermedades cardiorespiratorias y la contaminación del aire.[12,13]

Para el estudio de la relación entre contaminación del aire y la salud humana se utilizan tres tipos de estudios epidemiológicos.[14,15] En primer lugar, los estudios ecológicos transversales, que comparan la prevalencia o incidencia de una enfermedad en diferentes lugares en un momento dado. En segundo lugar, los diseños de series temporales, los cuales observan variaciones temporales en los niveles de contaminación y su relación con los efectos agudos en la salud y, finalmente, los estudios de seguimiento que observan a los individuos a lo largo del tiempo.

Existe una tendencia general a favorecer los estudios de series temporales ya que evitan problemas asociados a la confusión de variables, facilitan el análisis de la medición periódica de los efectos de la contaminación del aire y posibilitan evaluar patrones de retraso desde el momento de la exposición hasta la consecuencia en la salud.

Las investigaciones epidemiológicas han estado orientadas al estudio de los efectos del material particulado (particulate matter - PM), el cual se reconoce actualmente como el principal agente de morbilidad y mortalidad inmerso en la contaminación atmosférica.[16,17] El material particulado está formado por una mezcla de “partículas gruesas” (mayores de 2.5 µm de diámetro) y material más pequeño llamado “partículas finas” (menores de 2.5 µm de diámetro). Las dos fracciones tienen diferente origen y composición.

Los análisis toxicológicos y fisiológicos indican que las partículas finas son las que tienen un mayor efecto nocivo en la salud humana, dada su capacidad de penetrar y alojarse en los alvéolos pulmonares. Además, las partículas finas son más tóxicas por cuanto incluyen sulfatos, nitratos, ácidos, metales, partículas de carbono y otros químicos, pueden permanecer suspendidas por mayores intervalos de tiempo y penetrar más fácilmente en los ambientes interiores.[18]

Estas partículas son emitidas principalmente por fuentes de combustión (automóviles, plantas de energía, cocinas de leña) o de gases precursores que

reaccionan con la atmósfera y forman partículas secundarias (sulfatos, carbono, nitratos, etc.).

Entidades como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia Estadounidense de Protección Ambiental (EPA) han identificado una lista de contaminantes llamados "de referencia" que afectan directamente la salud humana y sobre los cuales se han establecido umbrales de seguridad (SO_2, NO_x, PM_{10}, CO, O_3 y Pb). Sin embargo, existe aún bastante controversia y desacuerdo acerca del nivel de contaminación a partir del cual ya no se observarían efectos en la salud o a partir del cual la pendiente de la función dosis-respuesta disminuiría sustancialmente. (tabla 7)

Tabla 7. Niveles Críticos para los contaminantes de referencia

Contaminante	Unidad	Tiempo de Exposición	Norma Colombiana*	Norma EPA**	Norma OMS*
PST	$\mu g/m^3$	Anual 24 horas	100 300	100 400	
PM_{10}	$\mu g/m^3$	Anual 24 horas	70 150	50 150	20 50
$PM_{2.5}$	$\mu g/m^3$	Anual 24 horas			10 25
SO_2	$\mu g/m^3$	Anual 24 horas	80 250	80	 20
NO_2	$\mu g/m^3$	Anual 24 horas	100 150	100	40
O_3	ppm ($\mu g/m^3$)	8 horas 1 hora	0.041 (80) 0.061 (120)	80	(100)
CO	ppb (mg/m^3)	8 horas 1 hora	8.8 (10) 35 (40)		

Fuente: * Resolución 601/06: Norma de Calidad del Aire Ministerio de Medio Ambiente
**Environment Protection Agency, USA
* Organización Mundial de la Salud. Ginebra, 2006

Diferentes investigaciones sugieren que los efectos sobre la salud pueden detectarse inclusive a concentraciones muy por debajo de las comúnmente aceptadas como niveles de referencia.[11,18] Así, basada en la evidencia científica disponible, la OMS asume que la exposición mínima a contaminantes del aire urbano a partir de la cual no se detectarían efectos en la salud humana es de 7,5 $\mu g/m^3$ de $PM_{2,5}$. [16]

En su más reciente declaratoria, la OMS traza las "Directrices sobre calidad del aire en la protección de la salud pública", las cuales deben ser aplicadas en todos

los países y cuya pretensión es ofrecer una orientación mundial para reducir las repercusiones de la contaminación del aire. Estas recomendaciones se sitúan en un valor de 10 µg/m^3 para $PM_{2.5}$ y de 20 µg/m^3 para PM_{10} como niveles críticos para la salud, conforme a las pruebas científicas actuales aportadas por expertos.[19]

Aunque los estudios epidemiológicos se han centrado en los efectos a corto plazo de la contaminación del aire, las investigaciones sugieren que la exposición a largo plazo es más significativa en términos del impacto en la salud de la población. [20,21] Los efectos de la contaminación en la morbilidad y mortalidad son múltiples pero la comunidad científica concuerda en que las tasas de cáncer de pulmón y de enfermedad cardiorrespiratoria son los principales indicadores sanitarios relacionados con una exposición crónica de los adultos a las partículas finas. En niños, los indicadores sanitarios están principalmente relacionados con las tasas de infecciones crónicas y agudas del tracto respiratorio, incluyendo asma.

Efectos en la Morbilidad

Las tasas de morbilidad por enfermedades cardiorrespiratorias en adultos e infecciones respiratorias en niños también se encuentran asociadas a las concentraciones de contaminantes del aire. [22] Los efectos estarían relacionados con el contacto de las sustancias tóxicas del aire con el tracto respiratorio y con la disminución de la capacidad pulmonar debido a los procesos inflamatorios generados por este contacto. Así, se ha encontrado por ejemplo que la función pulmonar de personas expuestas a niveles moderados y altos de contaminación sufre una disminución significativa del volumen de expiración forzado al primer minuto (VEF_1).

Recientes estudios epidemiológicos han permitido establecer que incrementos del orden de 10 µg/m^3 en la concentración de PM_{10} producen un aumento del 1 - 10% en infecciones respiratorias agudas y del 1 - 4% en visitas hospitalarias. [22]

Igualmente se observa un incremento sostenido de la morbilidad por asma y otros síntomas respiratorios. Las poblaciones más susceptibles son ancianos y niños. [17] Estos últimos son mucho más vulnerables debido a la inmadurez fisiológica del sistema pulmonar (80% de los alvéolos se forman después del nacimiento), lo cual disminuye la capacidad del pulmón frente a las agresiones tóxicas, y a que presentan tasas de respiración más altas que los adultos y por consiguiente respiran más contaminantes por unidad de peso corporal.

Según la American Lung Association (2001) y la American Academy of Pediatrics (2004), la exposición a contaminantes del aire representa un serio riesgo para este grupo de población. El grupo más afectado es el de los niños < 2 años, aunque también se ha encontrado correlación entre la concentración de monóxido de carbono y los niveles de carboxihemoglobina en la sangre del cordón umbilical,[23] lo cual evidencia la exposición del feto a los niveles de contaminación del aire. Por otro lado, se ha encontrado igualmente incrementos del 6,9% en la mortalidad de niños < 1 año, asociada con un aumento de 10 µg/m^3 en el $PM_{2.5}$.[5]

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) considera que dado los escasos estudios existentes en América Latina sobre los efectos de la contaminación del aire en niños y jóvenes, los efectos de la contaminación del aire sobre la salud están subestimados debido a la gran población de niños en la región.

La revisión sistemática y la comparación de estudios epidemiológicos ha permitido establecer coeficientes dosis-respuesta de morbilidad, que son hoy ampliamente utilizados en análisis epidemiológicos. (tabla 8)

Tabla 8. Estimación de los coeficientes dosis-respuesta por 100.000 habitantes para incrementos de 10 µg/m^3 de PM 10

Causa de Morbilidad	Estimación Media
Admisiones hospitalarias por enfermedad respiratoria	1.2
Urgencias	23.54
Incapacidad en días	5.750
Bronquitis en niños	169
Síntomas respiratorios en adultos	18.300

Fuente: Ostro (1994).

La estimación cuantitativa del efecto del material particulado sobre las tasas de mortalidad y morbilidad son consistentes con los resultados obtenidos en otras regiones del mundo, lo cual refuerza en cierta medida la consistencia de los hallazgos.[24] El meta-análisis o la comparación sistemática de los resultados de estudios conducidos en diferentes localidades y por diferentes medios ha permitido avanzar nuestra comprensión de los efectos de la contaminación del aire en la salud y de la validez de los resultados obtenidos.

Efectos en la Mortalidad

La literatura científica ha demostrado una relación entre el aumento de la contaminación del aire y el exceso de mortalidad.[11-17] Se estima que a nivel mundial el 3% de muertes por enfermedad cardiovascular son atribuibles a la exposición a material particulado[16] y que la contaminación del aire causa alrededor de 800.000 muertes prematuras cada año en todo el mundo.

La contaminación ambiental se asocia a mortalidad por causa de exposición aguda, es decir, concentraciones en el transcurso de horas o minutos o por exposición crónica a concentraciones no tan altas pero repetidas y acumuladas a lo largo de muchos años.

Las muertes por exposición aguda a una alta carga de contaminantes, usualmente material particulado fino y monóxido de carbono, ocurre en personas vulnerables, generalmente niños o ancianos debilitados por procesos patológicos de base tales como alergias respiratorias severas, enfermedad pulmonar obstructiva crónica o enfermedad isquémica cardiovascular avanzada. El hecho se presenta más como una complicación en personas cuya oxigenación tisular se haya en el umbral crítico de tolerancia para los procesos vitales, o bien porque se agregan fenómenos inflamatorios agudos y trombóticos secundarios a la irritación generada a las sustancias contaminantes.

Las muertes por exposición crónica se explican por el efecto nocivo y acumulado de factores contaminantes que bloquean el proceso respiratorio en forma lenta pero progresiva y agregan un componente irritativo sobre mucosas y epitelios que de tanto repetirse derivan en alteraciones del crecimiento celular, lo cual suele ser el punto de partida para la aparición de neoplasias o tumores malignos del pulmón. Las muertes por enfermedades crónicas, por cáncer de pulmón y por enfermedades cardiovasculares del adulto están claramente aumentadas en los grupos humanos que se exponen por períodos largos a incrementos aún discretos (10 $\mu g/m^3$) de material particulado respirable.

La investigación más detallada y la mejor evidencia disponible a la fecha sobre los efectos de la contaminación por material particulado en la mortalidad proviene del estudio de C. Arden Pope III realizado con base en una cohorte de 1.2 millones de adultos seguidos durante 16 años (1982-1998), en el marco del estudio de prevención del cáncer patrocinado por la *American Cancer Society* y de los datos sobre calidad del aire recogidos en las áreas metropolitanas de Estados Unidos en los periodos 1979 - 1983 y 1999 – 2000.[13] Los riesgos relativos o los coeficientes dosis-respuesta estimados en este estudio fueron utilizados por la OMS en el Informe Mundial de la Salud de 2002 y son ampliamente utilizados por numerosos equipos de investigación en todo el mundo.

Los resultados del estudio de Pope muestran que por cada incremento de 10 µg/m^3 de $PM_{2.5}$ la mortalidad general se incrementa en 4 - 6%, la mortalidad cardiopulmonar en 6 - 9% y la mortalidad por cáncer de pulmón en 8 -14%. No se encontró ninguna relación estadísticamente significativa entre el $PM_{2.5}$ y las otras causas de mortalidad. (tabla 9)

Tabla 9. Riesgo Relativo (*) Asociado con incrementos de 10 µg/m^3 de $PM_{2.5}$

Causa de Mortalidad	Lim inf	Lim sup
Todas las causas	1.04	1.06
Cardiopulmonar	1.06	1.09
Cáncer de pulmón	1.08	1.14
Otras causas	1.00	1.02

Fuente: Pope III, C.A. et al. (2002)
(*) RR ajustado por edad, estado civil, educación, tabaquismo, peso, dieta y factores ocupacionales de riesgo.

Un importante estudio llevado a cabo en 2004 por la Agencia Francesa de Seguridad Ambiental[20] arrojó resultados muy similares, mostrando que para los sujetos mayores de 30 años, el número de cánceres de pulmón atribuible en 2002 a la exposición urbana al $PM_{2.5}$ fue de 670 casos, es decir una fracción atribuible de alrededor del 6%. Los datos en América Latina y el Caribe muestran también resultados similares con incrementos en la mortalidad diaria del 1,5 - 5 % y del 2 - 9% en la mortalidad por cáncer de pulmón.[5]

Ámbito Regional

En el 2005, la OPS efectuó una búsqueda sistematizada y exhaustiva de los estudios sobre contaminación del aire y sus efectos sobre la salud realizados en América Latina y el Caribe desde 1994 hasta 2004 (artículos con arbitraje científico). Llama la atención que de los 85 estudios reportados ninguno fue producido en Colombia. Los estudios provenían de 6 países (Brasil, México, Chile, Perú, Cuba y Venezuela) y fueron realizados en 25 ciudades.

En la región se estima una producción científica sobre el tema de 7 estudios por año. La mayoría son estudios ecológicos de series temporales aunque también se encuentran en menor medida estudios transversales y estudios de cohorte.

En relación con los otros países del continente, todos los países de la región han fijado la norma de PM_{10} en 50 µg/m^3 a excepción de Colombia que fijó su norma en 70 µg/m^3. México es el único país de la región que efectúa un monitoreo sistemático de $PM_{2.5}$. (tabla 10)

Tabla 10. Concentraciones de PM_{10} en Latinoamérica

Ciudad	2002-2003	Unidades
Medellín	87-93	$\mu g/m^3$
Santiago de Chile	70-74	$\mu g/m^3$
Ciudad de México	65-74	$\mu g/m^3$
Bogotá	66-66	$\mu g/m^3$

Fuente: Delegada de Ambiente - Procuraduría General de Colombia
OPS. Evaluación de los efectos de la contaminación del aire en la salud de América Latina y el Caribe, 2005

Por otro lado, dado que aproximadamente el 50 - 70% de la contaminación proviene de fuentes móviles (automotores), existe actualmente un gran debate en la región sobre el mejoramiento de la eficiencia de medios masivos de transporte y la utilización de combustibles limpios.

El contenido de azufre en el combustible diesel es crítico para determinar el nivel de partículas en las emisiones. Se estima que reducciones en el contenido de azufre del diesel del orden de 0,5 a 0,035 % tienen como efecto una disminución del 75% de las emisiones de PM_{10} de los vehículos diesel (Copert, 2005). En la región, Colombia utiliza el diesel con mayor contenido de azufre (más de 4.500 partes por millón).

Ámbitos Nacional y Local

En Colombia se han producido escasos estudios que evalúen la relación entre la contaminación del aire y los efectos en la salud. Uno de ellos utiliza aplicaciones de los coeficientes dosis-respuesta obtenidos en estudios internacionales para estimar los efectos sobre la salud y los costos.[25] Ibáñez realiza una revisión bibliográfica de estudios que analizan los costos de la morbilidad por infección respiratoria aguda (IRA) en Bogotá.[26] Esta investigación presenta adicionalmente los resultados empíricos de un estudio realizado entre 1.200 habitantes de la ciudad con el fin de establecer la disponibilidad para pagar (Willingness to pay - WTP) para reducir el riesgo de morbilidad por IRA. El WTP es una técnica muy apreciada en los estudios de econometría para estimar el impacto económico de la deterioración del medio ambiente. En el país no se dispone de suficiente información a este nivel y se utilizan datos provenientes principalmente de estudios norteamericanos con las consabidas limitaciones de aplicación al contexto de un país en desarrollo.

Otro estudio interesante es el de Lozano[27], el cual presenta los resultados de la relación concentración - respuesta entre admisiones hospitalarias diarias por enfermedades respiratorias y los tres principales contaminantes en Bogotá en 1998. El estudio también da un primer paso en la estimación de los costos asociados a la polución del aire en Bogotá.

Aunque estos estudios son una contribución importante para la comprensión de los efectos de la contaminación del aire en la salud, no existen aún análisis de las principales ciudades del país que permitan tener un panorama general de los efectos de la contaminación atmosférica en la salud a nivel nacional, si bien se han divulgado ya algunos lineamientos para la formulación de políticas de prevención y control de la contaminación del aire.[28]

En nuestros esfuerzos preliminares por explorar los efectos de la contaminación atmosférica en la salud de la población que habita el área metropolitana del Valle de Aburrá, hemos podido constatar que la exposición crónica a material particulado (60 - 70 $\mu g/m^3$ PM_{10}) genera un exceso de mortalidad general por enfermedades cardiovasculares, por enfermedades respiratorias crónicas y especialmente por cáncer de pulmón, si se comparan las tasas con las poblaciones que habitan ambientes con aires más limpios en la meseta del oriente antioqueño (20 - 30 $\mu g/m^3$ PM_{10}), lo cual concuerda con los estudios reportados en la literatura especializada.[29,30]

En relación con signos y síntomas respiratorios hemos confirmado también un aumento significativo en la prevalencia de tos, dificultad respiratoria, ardor en los ojos, irritación de garganta, congestión nasal, gripas, alteraciones en la voz y frecuencia de crisis asmáticas, en asocio con la permanencia habitual en áreas más contaminadas, cerca de las calles urbanas por donde circulan muchos vehículos automotores.

También fue posible registrar una significativa diferencia en la capacidad funcional respiratoria por causa de la exposición crónica al material particulado. Pudimos detectar disminuciones entre 3 y 12% en los indicadores de función respiratoria y mayor prevalencia de disfunciones de flujo pulmonar (VEF_1 < 80%) en los expuestos. Estos hallazgos estaban presentes tanto en fumadores como en no fumadores y sugieren que la contaminación del aire es tan nociva como el tabaquismo o aún más.

objetivos

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el efecto de la contaminación atmosférica en la salud de la población de Medellín y el área metropolitana.

Objetivos Específicos

Evaluar el efecto de la contaminación atmosférica en la función pulmonar

- Evaluar indicadores de función respiratoria en grupos de personas expuestas (Medellín y el área metropolitana) en comparación con grupos de personas no expuestas (municipios del oriente antioqueño) a altos niveles de contaminación atmosférica.

Evaluar el efecto de la contaminación atmosférica en la morbilidad

- Evaluar la frecuencia de síntomas orgánicos en los individuos según nivel de exposición a la contaminación ambiental.
- Evaluar la frecuencia de síntomas neurosicológicos en los individuos según nivel de exposición a la contaminación ambiental.
- Evaluar indicadores de percepción del impacto de la contaminación en aspectos personales, laborales, económicos, mentales y sociales.

Evaluar el efecto de la contaminación atmosférica en la mortalidad

- Estudiar la tendencia de la mortalidad por enfermedades respiratorias crónicas y cáncer de pulmón en Medellín y el área metropolitana.
- Evaluar el exceso de mortalidad general
- Evaluar el exceso de mortalidad por enfermedades cardiorespiratorias
- Evaluar el exceso de mortalidad por enfermedades respiratorias crónicas
- Evaluar el exceso de mortalidad por cáncer del pulmón
- Comparar la mortalidad por enfermedades cardiorespiratorias, respiratorias crónicas y cáncer de pulmón en Medellín con respecto a otros lugares del país.

métodos

MÉTODOS

Diseño

Se realiza un estudio transversal de asociación en el cual se examinan varios grupos de personas en cuanto a las variables de interés: contaminación atmosférica y situación de salud.

Población objeto de estudio

Personas que realizan actividades laborales de más de 8 horas diarias en condiciones de exposición al aire libre en zonas urbanas, cercanas a las vías de circulación de vehículos. Se eligen dos grupos: un grupo expuesto tomado de entre los habitantes del Valle de Aburrá (PM_{10} 60 ug/m^3) y un grupo control tomado de entre los habitantes del Oriente antioqueño (PM_{10} 30 ug/m^3) de almacenes, tiendas y talleres de mecánica y otros oficios ubicados en los municipios del Valle de Aburrá, Oriente antioqueño y Santa Elena que tuviesen más de un año de laborar en el sitio donde se les encuestó y donde trabajan.

Criterios de inclusión

Hombres y mujeres, mayores de 18 años, con más de un año de estar laborando en el sitio de trabajo donde se aplicó la encuesta y se tomaron las pruebas clínicas.

Los sitios de trabajo seleccionados fueron escogidos teniendo en cuenta que se encontraran en el área de influencia de una estación de monitoreo ambiental (entre la estación Universidad de Antioquia y la estación Aguinaga, entre la estación San Fernando y la del centro de Itagüí, cerca de las dos estaciones ubicadas en el municipio de Girardota y la ubicada en Bello. Para el oriente antioqueño se tuvo en cuenta la estación de Sancela (Rionegro, Guarne). Para el corregimiento de Santa Elena se hicieron mediciones en los sitios donde se encuestó el mayor número de personas.

Criterios de exclusión

Menores de 18 años, personas que no están laborando en las áreas de estudio, personas que no fueran capaces de hacer la espirometría, estar bajo efectos de alcohol o drogas alucinógenas.

Muestra

Para garantizar una muestra cualitativamente apropiada se establecen criterios de inclusión para cada grupo de comparación.

Grupo expuesto. Personas adultas mayores de 18 años, que permanecen en sus actividades laborales habituales durante todo el día expuestos al aire que circunda las calles en sectores comerciales de Medellín y el área metropolitana.

Grupo no expuesto. Personas que cumplen las mismas condiciones que las personas del grupo expuesto pero que se ubican en los municipios del oriente antioqueño.

El tamaño muestral se calcula en EPIDAT y en EPIINFO con los siguientes criterios:

Para comparación de promedios muestrales (variables continuas)

confianza (1 - α)	95%
desviación estándar homogénea	2.5
diferencia de medias a detectar	1.0
poder para detectar diferencias	80%
tamaño muestral por grupo	**99** personas

Para comparación de proporciones muestrales (variables categóricas)

confianza (1 - α)	95%
poder para detectar diferencias	80%
prevalencia en grupo de estudio	30%
diferencia de % a detectar	10%
tamaño muestral por grupo	**313** personas

Para estudio de seguimiento (variables categóricas)

confianza (1 - α)	95%
poder para detectar diferencias	80%
riesgo en expuestos	30%
riesgo en no expuestos	30%
razón exp / no expuestos	1:1
tamaño muestral por grupo	**314** personas

Para las pruebas espirométricas (variables continuas) la muestra de 99 personas por grupo se superó para obtener un total de 489 (259 expuestos, 230 no expuestos).

Para los estudios de morbilidad por síntomas respiratorios y neurosicológicos (variables categóricas) la muestra de 314 personas por grupo se superó hasta obtener 828 personas (459 expuestos, 369 no expuestos).

Técnicas y procedimientos

Los investigadores se trasladaron al lugar de trabajo de las personas que participaron y allí se les aplicó la encuesta y se les realizaron las mediciones antropométricas y la espirometría. A cada persona se le realizaron tres espirometrías para asegurar la calidad del dato.

Las personas que participaron en el estudio tenían como criterio de inclusión que tuviesen más de un año de estar laborando en el lugar donde se tomó la espirometría.

Personas con alteraciones orgánicas que pusieran en peligro su condición de salud o que no fuesen capaces de hacer la prueba no se tenían en cuenta.

Los investigadores informaban previamente de las características de la prueba y explicaban a cada persona el resultado.

En quienes se encontró alteración se recomendó se consultara al servicio de salud al cual tenía derecho y se le entregaba una copia del resultado.

Instrumentos

Encuesta

Para la caracterización de la población, la evaluación de los signos y síntomas de enfermedad cardiopulmonar y de percepción del impacto de la contaminación, se utilizó una encuesta que contempla, además de éstos, el impacto de la contaminación en la vida personal y la magnitud de la contaminación por cada una de las fuentes.

Espirometría

Para las espirometrías se utilizó un espirómetro SPIROANALYZER ST 95. Todas las espirometrías fueron tomadas por un médico especialista en salud ocupacional. La calibración del equipo se hizo al terminar cada jornada cuando se tomaron las espirometrías usando una jeringa de 3 litros y siguiendo las instrucciones que para tal fin trae el equipo (luego de tres medidas el equipo corrige automáticamente).

Las variables espirométricas estudiadas fueron: Capacidad Vital, Volumen Espiratorio Forzado 1.0, Proporción de Volumen Espiratorio Forzado 1.0, Volumen Espiratorio Forzado 0.5, Flujo Espiratorio Máximo, Flujos Espiratorios al 25, 50 y 75 % de la capacidad vital, y Flujo Espiratorio Medio.

Datos de mortalidad

Para estudiar el efecto de la contaminación atmosférica sobre la mortalidad por diversas causas se plantea un estudio ecológico de seguimiento mediante el cual se comparan dos poblaciones en la frecuencia de casos letales, ajustados por el tamaño de la población. La población considerada como expuesta (nivel de exposición crónica a PM_{10} de 60 µg/m^3) se conforma con Medellín y los municipios del área metropolitana y otra población considerada como no expuesta se conforma con varios municipios del Oriente antioqueño (nivel de exposición crónica a PM_{10} de 30 µg/m^3)

Se recogen los datos de mortalidad en Colombia por todas las causas según lugar de residencia. Las bases generadas por el Departamento Nacional de Estadística (DANE) se acondicionan para resolver la transición del Sistema de Clasificación Internacional de Enfermedades efectuado a finales del siglo (1997) desde la versión 9ª a la versión 10ª.

Se consolidan todas las bases de datos por períodos anuales desde 1980 hasta el año 2004 (último año disponible en archivos planos certificados) lo que significa un total de 25 años de seguimiento para la mortalidad.

Se extractan los datos en términos absolutos para calcular las tasas correspondientes para cada una de las localidades de interés, utilizando los denominadores provenientes de las mejores estimaciones poblacionales disponibles apoyados en los datos censales reportados y corrigiendo las disparidades entre diferentes fuentes pronósticas.

Se calculan las tasas de mortalidad por todas las causas, por enfermedades cardiorrespiratorias, por enfermedades cardiovasculares, por enfermedades respiratorias totales, por enfermedades respiratorias crónicas, por cáncer de pulmón y de otras localizaciones y la mortalidad general.

Se comparan las tasas de mortalidad histórica (25 años de seguimiento) por las diversas causas para la población de la ciudad de Medellín con las tasas correspondientes a la población de los municipios del oriente antioqueño, área metropolitana, Bogotá y Colombia

Se calcula el *riesgo relativo* como medida de asociación epidemiológica para cada una de las comparaciones en mortalidad anual y se calcula un riesgo relativo global con su correspondiente intervalo de confianza al 95 %. Las tendencias de las tasas de mortalidad se calculan a través de regresión lineal simple y su respectiva prueba de hipótesis para definir sobre la significancia de la inclinación.

Plan de Análisis

Univariado

Las variables cuantitativas se exploran en la distribución de frecuencia para analizar la eventual simetría de dispersión en torno a los valores de tendencia central. Se estudian mínimos, máximos y esquemas de cajas y límites de variación para detectar valores atípicos y confrontar su validez. Se calculan promedios y desviaciones estándar.

Las variables categóricas se exploran en una aproximación cuantitativa, cuando utilizamos la escala ordinal de 1 – 10 y también se exploran en relación con la proporción de sintomáticos que pueden establecerse a partir de un punto de corte en la escala de frecuencias.

Las series de tiempo relacionadas con la mortalidad en los últimos 25 años se analizan en la variación de los términos absolutos a través del tiempo y también la evolución de las tasas de mortalidad calculadas con los respectivos denominadores poblacionales.

Las tendencias, tanto de los casos en términos absolutos como de las tasas de mortalidad a través del tiempo, se analizan con regresión lineal simple para establecer la pendiente y su correspondiente intervalo de confianza, se complementa con los coeficientes de regresión y determinación.

Bivariado

Se utilizan pruebas de hipótesis para comparación de promedios en relación con las variables continuas. Se calcula el estadístico t de student con un nivel de significancia p .05 como criterio de aceptación.

Para las variables categóricas se ensaya el análisis paramétrico con la aproximación cuantitativa y pruebas t p .05. De todos modos se aplican pruebas no paramétricas tipo Kruskal – Wallis para la comparación de rangos con criterio de aceptación p .05.

El análisis epidemiológico se hace sobre el contraste entre indicadores de frecuencia de morbilidad y mortalidad para grupo expuesto y no expuesto. Se calculan los Riesgos Relativos (RR) con sus respectivos intervalos de confianza del 95% y pruebas de significancia complementarias de X^2 (chi cuadrado) y p .05.

Encuesta

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y EFECTOS EN LA SALUD
Área Metropolitana

IDENTIFICACIÓN

cédula ..... sexo m..... f..... edad..... estrato (1 – 6) .....

estudios primaria..... secundaria ..... universitario..... años en la zona .....

lugar ..... fumador nunca ..... antes ..... leve..... moderado ..... severo .....

CLÍNICO / AMBIENTAL

Con qué frecuencia sufre Usted… (0 – 9)

- tos .....
- dificultad respiratoria .....
- ardor en los ojos .....
- congestión nasal .....
- estornudos .....
- garganta irritada .....
- dolor de cabeza .....
- voz afectada .....
- gripa .....
- asma .....
- irritabilidad .....
- angustia .....
- rabia .....
- nerviosismo .....
- tristeza .....
- depresión .....
- desespero .....
- agotamiento .....
- aburrimiento .....
- pesimismo .....

9	siempre	7 v/sem
8	casi siempre	6 v/sem
7	muy frecuente	5 v/sem
6	frecuente	3 v/sem
5	algo frecuente	1 v/sem
4	poco	2 v/mes
3	muy poco	1 v/mes
2	ocasional	3 v/año
1	casi nunca	1 v/año
0	nunca	1 v/vida

Con qué frecuencia percibe Usted… (0 – 9)

- que el aire que le rodea está contaminado .....
- que los objetos del lugar están empolvados .....
- que los vidrios se opacan y oscurecen .....
- que los cuellos y las mangas de la ropa se ensucian .....
- que el suelo y los muros están ennegrecidos .....

ANTROPOMÉTRICAS

peso ..... talla ..... carpo ..... abdomen ..... PAS .....

CV ..... VEF 1..... % VEF ..... FC ..... PAD .....

Qué tanto le afecta a Usted la contaminación del aire que lo rodea (0 – 5)

- en la salud .....
- en lo económico .....
- en lo mental .....
- en lo familiar .....
- en lo laboral .....
- en lo recreativo .....

Que tanto cree Usted que contaminan el aire (0 – 5)

- las motos .....
- los automóviles .....
- los camperos .....
- los buses .....
- las fabricas .....
- los constructores .....

5	muchísimo
4	mucho
3	termino medio
2	poco
1	muy poco
0	nada

resultados

RESULTADOS

Características sociodemográficas

Se evalúan 828 personas, 459 componen el grupo de individuos expuestos (Medellín y área metropolitana con nivel de exposición promedio para PM_{10} de 60 $\mu g/m^3$) y 369 el grupo de no expuestos (municipios del oriente antioqueño cercano con nivel de exposición promedio para PM_{10} de 30 $\mu g/m^3$).

La proporción de hombres y de mujeres es similar para ambos grupos. La edad promedio para cada uno de los sexos es similar, con valores cercanos a 44 años en los hombres y 39 años en las mujeres.

Los resultados muestran que tampoco hay diferencias de significación entre las dos poblaciones (expuestos y no expuestos) en las variables de peso, talla, carpo y abdomen, las cuales expresan aspectos del estado nutricional.

El peso corporal varía en torno a 71 kg en los hombres y 63 kg en las mujeres. La estatura promedio de los hombres está cerca de 168 cm y 157 cm para las mujeres. El perímetro del carpo como indicador de complexión corporal es muy cercano entre los grupos de comparación con 17 cm para hombres y 15,5 cm para mujeres. La acumulación de grasa abdominal resulta también muy similar con valores de cintura alrededor de 91 cm para los hombres y 87 cm para las mujeres. (tabla 11)

Tabla 11. Características de los individuos según sexo y niveles de exposición crónica a contaminación ambiental

Variable	*60 µg/m³*		*30 µg/m³*	
	hombres	*mujeres*	*hombres*	*Mujeres*
n	268	191	196	173
Edad (años)	45.3	38.4	42.2	39.0
Peso (kg)	71.2	62.4	70.1	63.1
Talla (cm)	167.0	157.3	168.3	156.1
Carpo (cm)	17.0	15.3	17.2	15.7
Abdomen (cm)	92.5	86.4	90.3	87.2

La proporción de personas en cada uno de los niveles educativos es notablemente similar tanto para el grupo de estudio como para el grupo control. Las pruebas de bondad de ajuste estadístico confirman que su composición desde este punto de vista es prácticamente igual.

La proporción de personas ubicadas en los distintos estratos económicos es para ambos grupos muy cercana y de nuevo los indicadores estadísticos no distinguen diferencia entre los grupos de estudio y de control.

La variable que representa la mayor potencialidad de confusión es la exposición de las personas al humo de tabaco, por lo tanto el hábito de fumar se explora en categorías establecidas según la frecuencia de consumo. Las proporciones de personas en cada categoría son muy similares y los estadísticos de prueba confirman la similitud. (tabla 12)

Tabla 12. Características sociodemográficas de los individuos según niveles de exposición crónica a contaminación ambiental

Variable	60 µg/m^3	30 µg/m^3	X^2	p
Nivel educativo (%)				
Primaria	37.3	37.9	0.01	0.94
Secundaria	41.4	40.4	0.03	0.86
Universitario	15.7	18.7	0.32	0.57
Sin dato	5.6	3.0		
Estrato				
1-2	47.3	48.2	0.03	0.87
3-5	48.8	49.3	0.03	0.87
Sin dato	3.9	2.5		
Fumar				
Nunca – Antes	68.0	72.4	1.29	0.26
Leve	12.4	11.9	0.02	0.89
Moderado	11.8	8.1	0.08	0.78
Severo	7.4	7.1	0.10	0.75
Sin dato	0.4	0.5		

Impacto

La contaminación del aire impacta diversos aspectos de la vida y el bienestar de las personas y esa percepción depende del grado de contaminación al cual se está expuesto.

Un 78.1% de los habitantes del área metropolitana de Medellín entrevistados reportaron que la mala calidad del aire los afecta en la salud física, es decir, cuatro de cada cinco ciudadanos tiene conciencia de los efectos desfavorables de la contaminación atmosférica sobre la salud.

Proporciones menores de personas reconocen que también se impacta la salud mental (55.5%), la economía (49.9%), la recreación (48.8%), el campo laboral (46.3%) y el ámbito familiar (41.4%).

Las personas que viven y trabajan en ambientes más contaminados perciben mucho más los efectos desfavorables. El contraste de las percepciones entre los habitantes del área metropolitana de Medellín en comparación con los habitantes del oriente antioqueño es marcado. El análisis epidemiológico revela que tal percepción es 3 - 4 veces más alta para todos los aspectos del bienestar humano estudiados.

La diferencia mayor se presenta para el dominio de la salud mental RR 4.44 IC 95% (3.3, 5.8) X^2 162.8 p .00. El impacto sobre el campo recreativo y sobre el ámbito familiar también muestra contrastes con valores cercanos a 4 (3.99 y 3.81 respectivamente). (tablas 13 y 14)

Tabla 13. Proporción de personas que perciben el impacto de la contaminación atmosférica sobre diversos aspectos de la vida humana y según su grupo de exposición.

aspecto	Medellín	Oriente	RR	IC 95%	x^2	p
Mental	55.5	12.5	4.44	3.3 – 5.8	163	.00
Recreativo	48.8	12.2	3.99	2.9 – 5.3	124	.00
Familiar	41.4	10.9	3.81	2.7 – 5.2	95	.00
Laboral	46.3	14.1	3.27	2.5 – 4.2	279	.00
Economía	49.9	15.5	3.22	2.4 – 4.1	106	.00
Salud	78.1	26.8	2.91	2.4 – 3.4	217	.00

Tabla 14. Promedio de percepción del impacto por causa de la contaminación atmosférica en diversos aspectos de la vida reportados por individuos más expuestos (60 µg/m^3) y menos expuestos (30 µg/m^3)

Variable	60 µg/m^3	30 µg/m^3	D (%)	t	p
Salud	3,41	1,48	56,60	331,1	0.00
Mental	2,48	0,65	73,79	272,5	0.00
Económico	2,32	0,85	63,36	185,3	0.00
Laboral	2,19	0,83	62,10	133,1	0.00
Recreativo	2,16	0,65	69,91	169,9	0.00
Familiar	1,96	0,60	69.39	142,2	0.00

* Los valores expresan el promedio de la intensidad del impacto percibido para cada variable, escala (0-5)

Los hallazgos evidencian la mayor percepción de los efectos negativos en los individuos expuestos, en comparación con la percepción de los no expuestos y complementan los hallazgos a nivel orgánico y neurosicológico que permiten evidenciar un mayor riesgo para los individuos expuestos a altos niveles de contaminación. (Gráfico 1A)

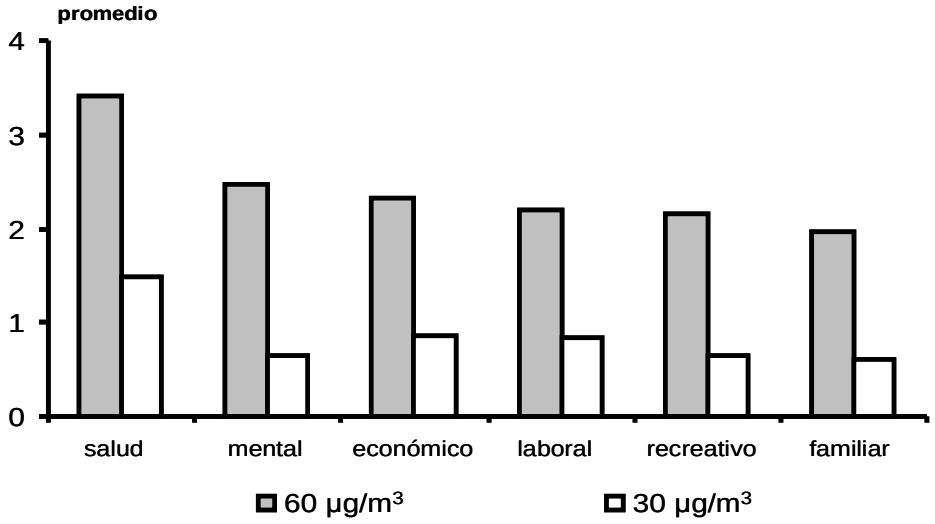


Gráfico 1A. Impacto percibido de la contaminación atmosférica en diversos aspectos de la vida reportados por individuos más expuestos (60 µg/m^3) y menos expuestos (30 µg/m^3)

Percepción de la contaminación

Los individuos que viven y trabajan en atmósferas más contaminadas, efectivamente perciben la contaminación en los objetos, en la ropa, en los vidrios, en los muros y en el aire mismo. Esta percepción se hace evidente en la alta frecuencia con la cual registran efectos de suciedad y polvo en el ambiente que les rodea. (tabla 15)

Tabla 15. Promedio de la percepción de la contaminación

Variable	60 µg/m^3	30 µg/m^3	D (%)	t	p
Aire	7,96	2,49	68,72	1123	0,00
Objeto	8,36	3,68	55,98	764	0,00
Vidrios	8,02	2,75	65,71	871	0,00
Ropa	8,09	3,49	56,86	547	0,00
Muros	7,29	2,12	70,92	623	0,00

Los indicadores de frecuencia e intensidad de la percepción de la contaminación atmosférica alcanzan valores cercanos a 8 (en una escala de 0-9) para quienes viven en Medellín y su área metropolitana (PM_{10} 60 µg/m^3). En contraste los valores (2-3) son significativamente menores para quienes viven y trabajan en áreas más limpias del oriente antioqueño (PM_{10} 30 µg/m^3). (Gráfico 1B)

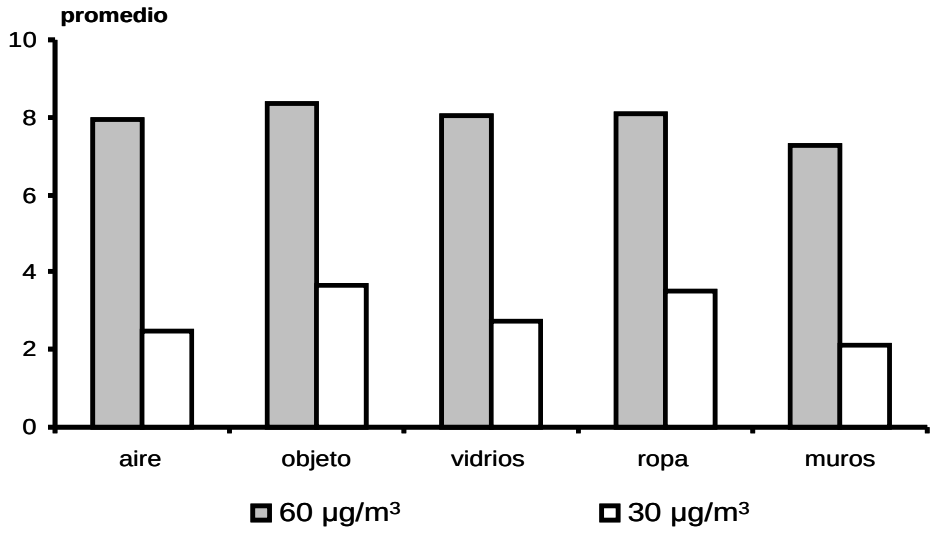


Gráfico 1B. Percepción de la contaminación

Función Respiratoria

Los estadísticos descriptivos y la distribución de frecuencias para cada uno de los indicadores de función respiratoria se reportan numérica y gráficamente para estudiar su aproximación a la distribución normal. (gráfico 2A)

Todos los indicadores espirométricos (gráficos 2B y 2C) fueron significativamente más bajos en las personas que viven y trabajan expuestas a mayores niveles de contaminación atmosférica (60 µg/m^3) en comparación con quienes respiran un aire más limpio (30 µg/m^3).

Los diferentes indicadores de eficiencia en el flujo aéreo a través de los pulmones presentan diferencias que varían entre 3% a 12% entre los grupos de estudio. (gráfico 2D)

El flujo espiratorio promedio (MMEF) y el flujo espiratorio al 50% de la capacidad vital (MEF50) presentan diferencias a favor de las personas que respiran aire más limpio cercanos al 12% (t 16 p .00). Esta diferencia es similar para ambos sexos, aunque discretamente mayor para los hombres.

Los flujos espiratorios al 25 y 75 % de la capacidad vital, igual que el flujo espiratorio forzado al tiempo .5 segundos, revelan diferencias cercanas al 10% que se asumen atribuibles a una exposición crónica al material particulado respirable con un gradiente de 30 µg/m^3 (60-30 µg/m^3).

El volumen espiratorio forzado el primer segundo (VEP1) y la capacidad vital (CV) difieren entre los grupos en proporciones muy próximas al 8%.

Las variables más clásicas de la capacidad ventilatoria del individuo muestran diferencias entre los grupos comparados. La capacidad vital (CV) tiene un promedio de 3,50 litros en la población del área metropolitana, en tanto que el promedio es de 3,73 litros para los habitantes del oriente antioqueño (t 7.47 p .01).

El volumen espiratorio forzado muestra un contraste similar en los promedios, 2.88 y 3.13 respectivamente (t 13.2 p .00). La prueba más indicativa de alteraciones funcionales, es decir, la prueba de Tiffeneau o proporción de volumen espiratorio forzado de un segundo, muestra una clara diferencia en perjuicio de quienes respiran un aire contaminado cuyo promedio de 81.8 es significativamente menor que el promedio de 84.2 correspondiente al grupo control (t 10.7 p .00). (tabla 16)

Estadísticos

	CV	VEF	PVEF	FEV5	MMEF	PEF	MEF75	MEF50	MEF25
N	488	492	480	491	491	491	491	491	484
Media	3,60	3,00	83,46	2,30	3,37	6,31	5,74	4,11	1,63
Moda	3,44	2,98	100,0	2,04	2,87	4,28	6,52	4,05	1,37
Desv. típ.	,87	,79	6,95	,67	1,26	2,39	2,25	1,52	,70
Mínimo	1,30	1,06	60,5	,74	,39	,67	,58	,43	,18
Máximo	6,19	5,36	100,0	4,28	7,74	13,62	12,87	8,97	3,98

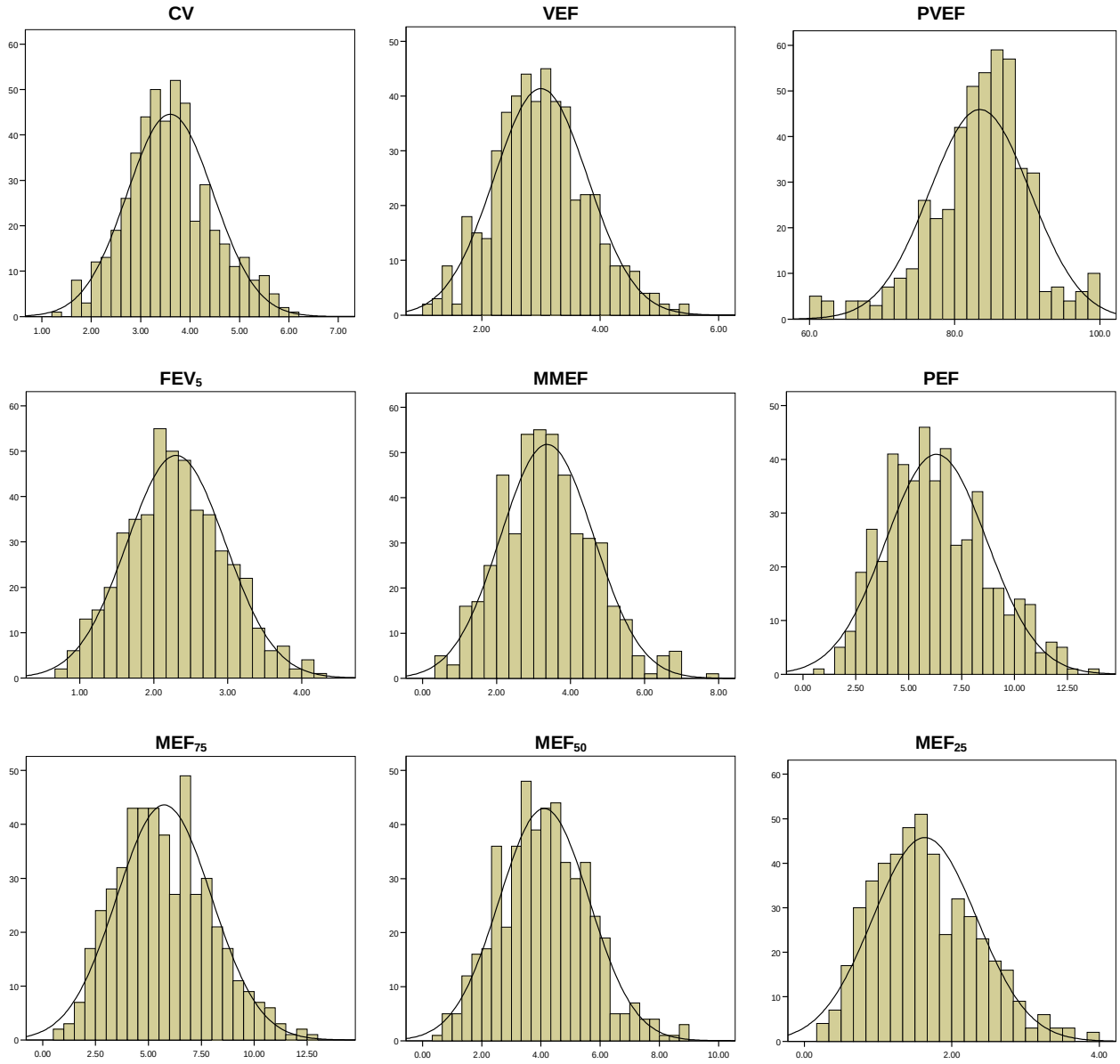


Gráfico 2A. Estadísticos descriptivos de la función respiratoria en el área metropolitana y el oriente antioqueño. 2006

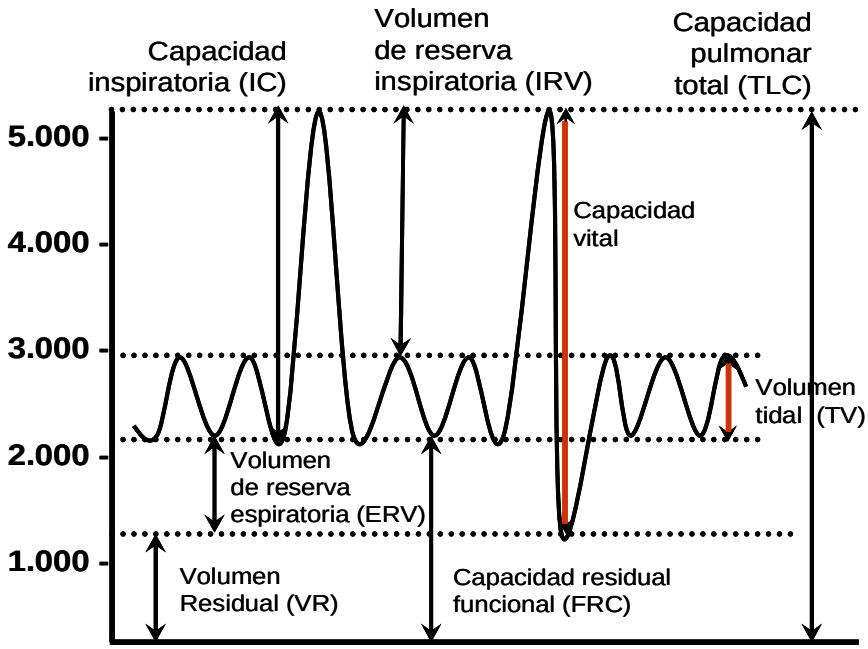
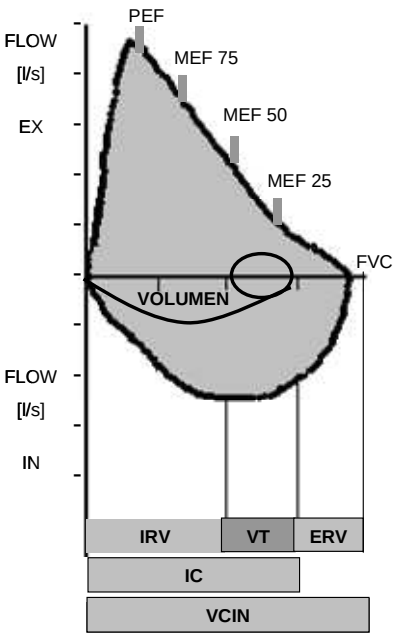


Gráfico 2B. Presentación esquemática de un Espirograma



VC	Capacidad vital
FVC	Capacidad vital espiratoria forzada
FEV1	Volumen espiratorio forzado después de un segundo.
FEV1%VC	FEV1 in % de máxima capacidad vital
PEF	Máximo flujo espiratorio (peak flow)
MEF25	Máximo flujo espiratorio al 25% de máxima VC.
MEF50	Máximo flujo espiratorio al 50% de máxima VC.
MEF75	Máximo flujo espiratorio al 75% de máxima VC.
MMEF	Máximo flujo espiratorio entre el 25 y el 75% de FVC.
PIF	Máximo flujo inspiratorio
FEV6	Volumen espiratorio forzado después de 6 segundos

FEV1% FEV6 FEV1 in % FEV6

Gráfico 2C. Esquema de la dinámica del flujo espiratorio

Variables espirométricas estudiadas

CV **Capacidad vital**

Expresa el nivel de expansión ventilatoria que puede tener una persona mediante la excursión máxima del pulmón, desde una inspiración profunda al tope, hasta la máxima expiración voluntaria.

VEF **Volumen espiratorio forzado**

Volumen aéreo que una persona es capaz de evacuar de sus pulmones, desde una inspiración máxima y en el transcurso de un segundo.

% VEF **Proporción de volumen espiratorio forzado (Tiffeneau)**

Proporción igual a (VEF *100) / CV. Indicador fisiológico de eficiencia ventilatoria.

$VEF_{.5}$ **Volumen espiratorio forzado .5 seg**

Es la misma medida que el VEF, solo que en lugar de un segundo se mide en la mitad de este breve tiempo. Expresa el mismo significado que el VEF en términos de eficiencia ventilatoria.

PEF **(Peak expiratory flow)**

Flujo de aire máximo alcanzado durante la prueba de espiración forzada. Es a la vez un indicador de permeabilidad de las vías aéreas y de la potencia muscular espiratoria.

MMEF **Indicador de flujo**

Promedio y percentiles 25, 50, 55

MEF_{25}
MEF_{50}
MEF_{75}

Representan mediciones parciales del flujo espiratorio registrado durante la prueba. Evalúan la eficiencia temprana, media y tardía del proceso ventilatorio.

Tabla 16. Variables funcionales respiratorias en individuos más expuestos (60 µg/m^3) y menos expuestos (30 µg/m^3) a contaminación atmosférica

Variable	60 µg/m^3	30 µg/m^3	D(%)	t	p
MEF.50	3,85	4,39	**12,10**	16,0	,00
MMEF	3,17	3,59	**11,69**	14,4	,00
MEF.25	1,59	1,77	**10,17**	6,3	,01
MEF.75	5,47	6,05	**9,59**	8,1	,00
VEF.5	2,20	2,42	**9,09**	13,1	,00
VEF	2,88	3,13	**7,99**	13,2	,00
PEF	6,09	6,55	**7,02**	4,6	,03
CV	3,50	3,73	**6,17**	7,5	,01
PVEF	81,80	84,20	**2,85**	10,7	,00

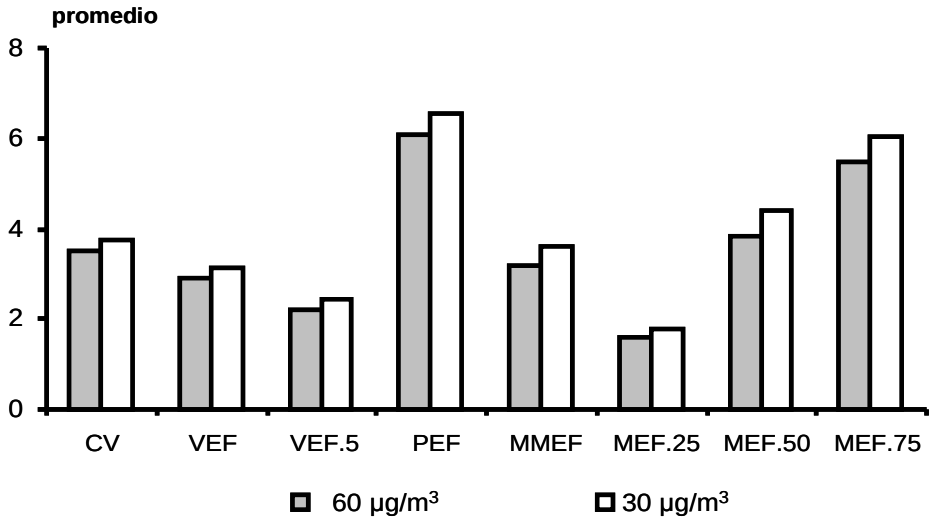


Gráfico 2D. Variables funcionales respiratorias en individuos más expuestos (60 µg/m^3) y menos expuestos (30 µg/m^3) a la contaminación atmosférica

Variables respiratorias y sexo

La comparación de los indicadores espirométricos revela que los valores, en términos absolutos, son mayores en los hombres que en las mujeres. Solamente la prueba de Tiffeneau (%VEF) es bastante similar en ambos sexos y justamente es la única prueba que se expresa en un valor proporcional autorreferenciado, es decir, es la proporción de la capacidad vital propia que puede evacuarse del pulmón en el transcurso de un segundo.

Los mayores valores obtenidos por los hombres para las distintas variables espirométricas básicamente expresan las mayores dimensiones corporales de éstos en comparación con las mujeres, especialmente en relación con el tórax y con la musculatura que se asocia con la ventilación pulmonar.

Las diferencias entre personas expuestas a niveles más altos de contaminación atmosférica por material particulado efectivamente se reflejan en todos los indicadores de función pulmonar. Estas diferencias registradas para la muestra global son, en magnitud y en sentido, bastante similares para los hombres y las mujeres.

Los resultados muestran consistencia en relación con el sexo, es decir, las diferencias en función pulmonar se presentan tanto en los hombres como en las mujeres. Para quienes están expuestos a niveles de aire más contaminado (60 $\mu g/m^3$ de PM10 Medellín y su área metropolitana) se registran valores de función pulmonar disminuidos en relación con quienes respiran aire más limpio (30 $\mu g/m^3$ de PM10 en los municipios del oriente antioqueño) en datos que resultan biológica y estadísticamente significativos.

Las diferencias que serían atribuibles a la exposición a niveles de contaminación atmosférica mayor, muestran en general valores un poco más altos para los hombres que para las mujeres. (tablas 17 y 18)

Tabla 17. Variables funcionales respiratorias en hombres más expuestos (60 µg/m^3) y menos expuestos (30 µg/m^3) a la contaminación atmosférica

Variable	60 µg/m^3	30 µg/m^3	D(%)	t	p
MEF.25	1,65	1,94	**14,95**	8,4	,00
MMEF	3,37	3,94	**14,47**	12,9	,00
MEF.50	4,14	4,81	**13,93**	12,8	,00
VEF.5	2,41	2,69	**10,41**	13,1	,00
MEF.75	6,16	6,84	**9,94**	6,4	,01
VEF	3,12	3,46	**9,83**	14,3	,00
CV	3,81	4,12	**7,52**	8,9	,00
PEF	6,95	7,48	**7,09**	3,5	,06
PVEF	81,19	84,07	**3,43**	8,3	,00

En los hombres se mantienen las diferencias en relación con las capacidades ventilatorias entre los grupos humanos, cuya diferencia fundamental es la exposición crónica a material particulado respirable en el aire (gráfico 1C).

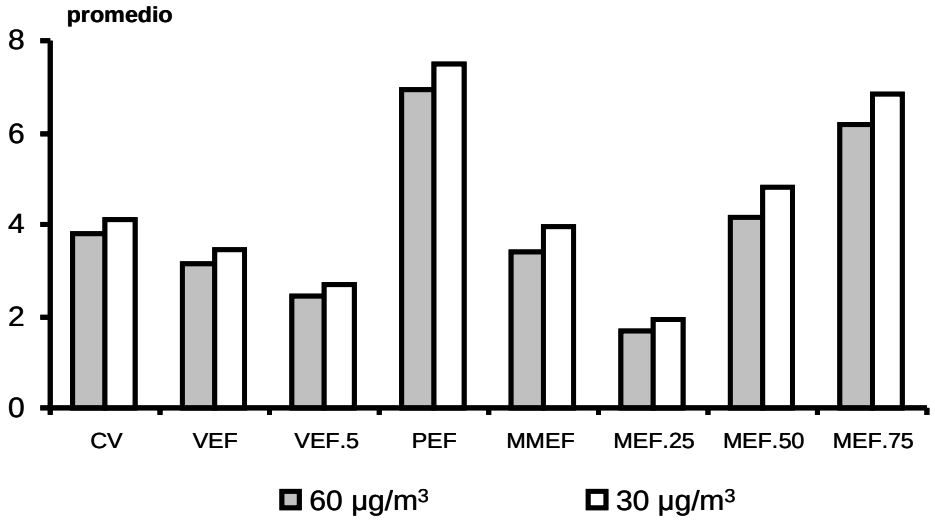


Gráfico 1C. Variables funcionales respiratorias en hombres más expuestos (60 µg/m^3) y menos expuestos (30 µg/m^3) a la contaminación ambiental

Tabla 18. Variables funcionales respiratorias en mujeres más expuestas (60 µg/m^3) y menos expuestas (30 µg/m^3) a la contaminación atmosférica

Variable	60 µg/m^3	30 µg/m^3	D(%)	t	p
MEF.75	4,30	4,95	**13,13**	8,3	,00
PEF	4,63	5,26	**11,98**	8,2	,00
MEF.50	3,36	3,81	**11,81**	7,9	,01
MMEF	2,82	3,11	**9,32**	4,9	,03
VEF.5	1,85	2,04	**9,31**	8,8	,00
VEF	2,47	2,68	**7,84**	7,1	,01
CV	2,98	3,18	**6,29**	4,7	,03
MEF.25	1,49	1,53	**2,61**	0,2	,67
PVEF	82,88	84,29	**1,67**	2,1	,15

En las mujeres las diferencias en las variables espirométricas exhiben igual comportamiento, es decir, siempre los valores para cada uno de los indicadores presentan niveles disminuidos en quienes están más expuestos a la contaminación del aire (gráfico 1D).

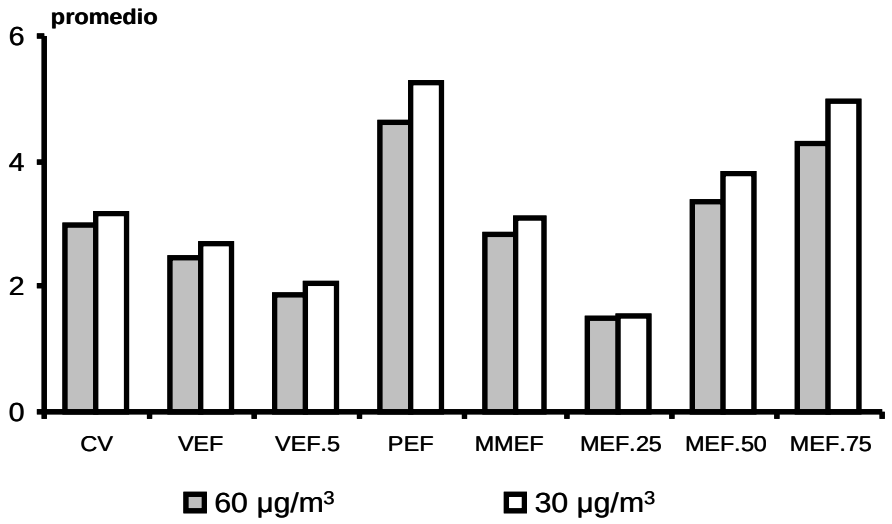


Gráfico 1D. Variables funcionales respiratorias en mujeres más expuestas (60 µg/m^3) y menos expuestas (30 µg/m^3) a la contaminación ambiental

Riesgo relativo

Cuando se compara la proporción de personas que tiene un % VEF < 80 con un indicador temprano de riesgo para enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) en relación con el nivel de exposición al material particulado en el aire, se hace evidente el exceso de riesgo para quienes están más expuestos RR 1.64 IC 95% (1.19-2.45) X^2 9.8 p.00.

PVEF < 80 (General)

	SI	NO	TOTAL
Expuestos	83	176	259
No expuestos	45	185	230

RR **1.64** (1.19 – 2.45)
X^2 9.8 p .00

PVEF < 80 (Hombres)

	SI	NO	TOTAL
Expuestos	56	107	163
No expuestos	30	104	134

RR **1.53** (1.05 – 2.24)
X^2 5.12 p .02

PVEF < 80 (Mujeres)

	SI	NO	TOTAL
Expuestos	27	69	96
No expuestos	15	81	96

RR **1.80** (1.02 – 3.16)
X^2 4.39 p .04

El mismo análisis epidemiológico aplicado en los hombres revela también asociación RR 1.53 (IC 95% 1.05 - 2.24) X^2 5.12 p .02. En las mujeres los datos correspondientes son RR 1.80 IC 95% (1.02 - 3.16) X^2 4.39 p.04.

Riesgo Relativo y hábito de fumar

En los no fumadores se encontró un exceso de riesgo del 65% para sufrir enfermedad pulmonar obstructiva crónica en el grupo de expuestos a la contaminación atmosférica RR 1.65 IC95% (1,10 - 2,46) X^2 6.2 p.01.

PVEF < 80 en no fumadores

	SI	NO	TOTAL
Expuestos	51	121	172
No expuestos	29	132	161

RR 1.65 (1,10 – 2,46)
X^2 6.2 p .01

En los fumadores, se encuentra un valor similar (59%) en exceso de riesgo para sufrir enfermedad pulmonar obstructiva crónica en el grupo de expuestos, RR 1.59 IC 95% (0,95 - 2,64), con diferencias significativas (X^2 3.3 p .07)

PVEF < 80 en fumadores

	SI	NO	TOTAL
Expuestos	32	55	87
No expuestos	16	53	69

RR 1.59 (0,95 – 2,64)
X^2 3,3 p .07

Es evidente que la asociación entre personas expuestas al aire más contaminado y la reducción de la función pulmonar RR 1.64 (1.19 – 2.45) permanece inalterada cuando se analiza en forma estratificada para los fumadores RR 1.59 (0.95 – 2.64) y para los no fumadores RR 1.65 (1.10 – 2.46), es decir, la asociación ocurre en forma independiente del hábito del tabaquismo o, dicho de otra forma, el hábito de fumar no constituye, en este caso, un factor de confusión.

Morbilidad

Síntomas Respiratorios

Cuando se comparan promedios de las frecuencias con las cuales se presentan los síntomas y se acude a pruebas paramétricas para estudiar la diferencia entre los grupos, los resultados son plenamente concordantes con las pruebas epidemiológicas y la comparación de proporciones.

Las personas del grupo expuesto (PM_{10} 60 µg/m^3) y que viven y trabajan en las áreas urbanas del Valle de Aburrá tienen un exceso de signos y síntomas respiratorios con respecto a las personas del grupo menos expuesto (PM_{10} 30 ug/m^3), es decir, quienes viven y trabajan en el altiplano del oriente antioqueño (tabla 19) (gráfico 2A).

La congestión nasal, la dificultad respiratoria y la tos son los síntomas que se presentan en un mayor contraste con riesgos relativos de 2.60 IC95% (1.93, 3.62); 2.22 IC95% (1.56, 3.15) y 2.14 IC95% (1.63, 2.81) respectivamente. (gráfico 2B)

Los estornudos, el ardor en los ojos y la garganta irritada son síntomas que aparecen con excesos cercanos al 80%, en todos los casos con riesgos relativos altamente significativos.

Las afectaciones de la voz y el dolor de cabeza aparecen como signos y síntomas que se presentan con excesos cercanos al 50%, en magnitudes que alcanzan significación estadística.

Los episodios de asma también revelan un exceso para los residentes de áreas más contaminadas en un 45%, lo cual resulta de importancia clínica, así como la frecuencia de resfriados que se reportan con un exceso del 30%, RR 1.45 IC95% (0.87, 2.43) y RR 1.30 IC95% (0.89, 1.92). (gráfico 2C)

Tabla 19. Síntomas orgánicos en individuos más expuestos (60 µg/m^3) y menos expuestos (30 µg/m^3) a la contaminación ambiental

Variable	60 µg/m^3	30 µg/m^3	D(%)	K-W	p
Ardor en ojos	4.53	2.79	38,41	60.6	0,00
Congestión nasal	3.19	1.85	42,01	35.5	0,00
Dificultad. Respiratoria	2.25	1,23	45,33	25.7	0,00
Garganta irritada	2.69	1.86	30,86	20.4	0,00
Tos	3.64	2.58	29,12	40.9	0,00
Estornudos	4.68	3.24	30,77	59.4	0,00
Dolor de cabeza	3.62	2.79	22,93	17.6	0,00
Voz afectada	1.57	1.15	26,75	9.1	0,00
Gripa	2,64	2,32	12,12	7.3	0,00
Asma	0.45	0.28	37,78	1.5	0.22

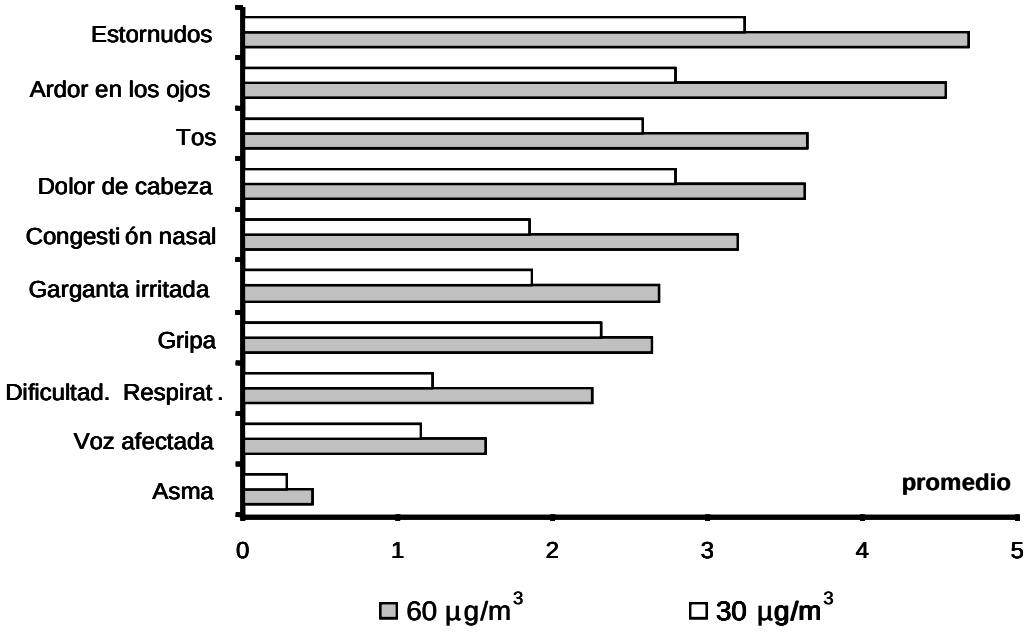


Gráfico 2A. Síntomas orgánicos en individuos más expuestos (60 µg/m^3) y menos expuestos (30 µg/m^3) a contaminación ambiental

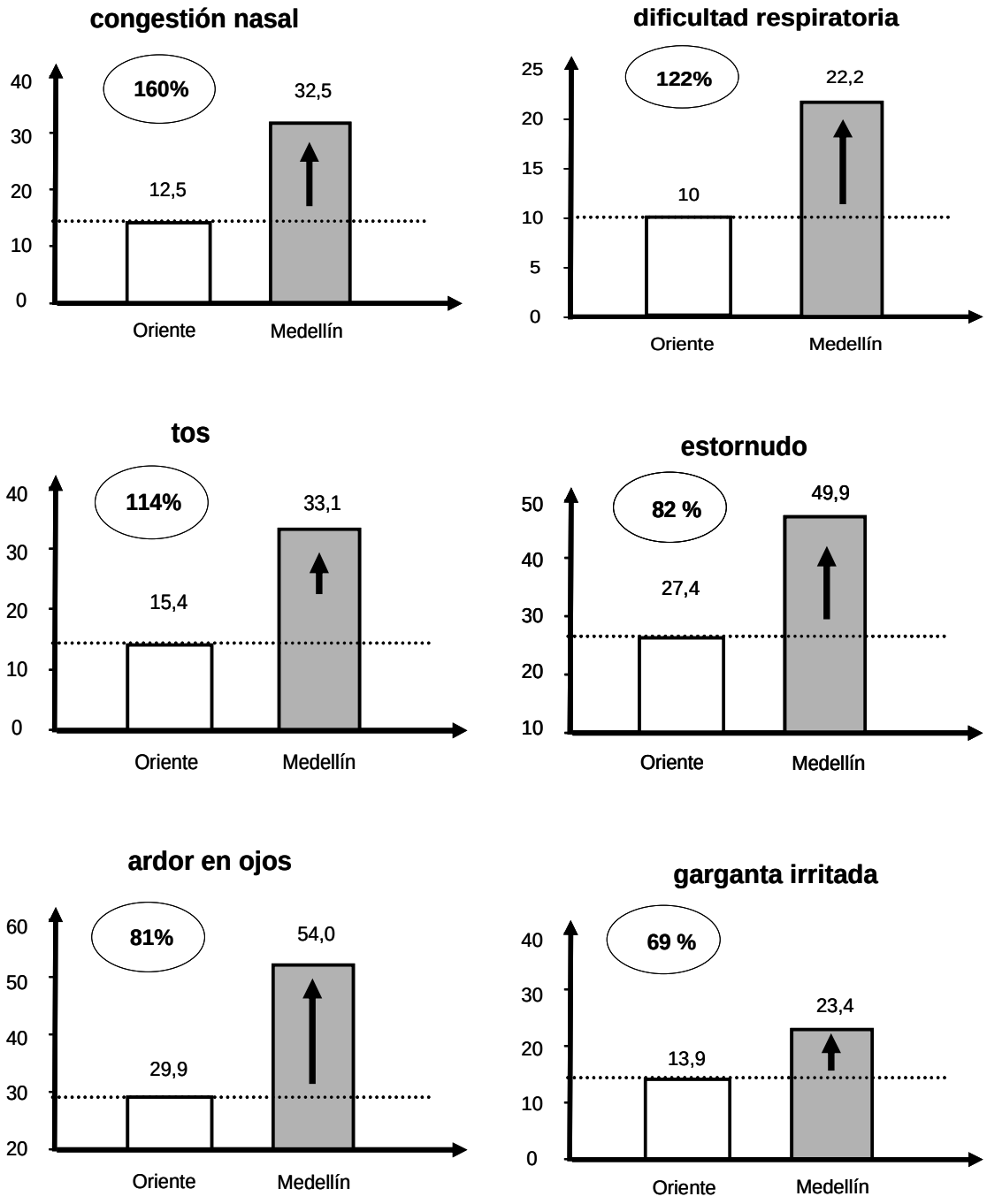


Gráfico 2B. Comparación de síntomas respiratorios entre personas no expuestas (oriente antioqueño) y personas expuestas (Medellín y área metropolitana)
Síntomas mas prevalentes

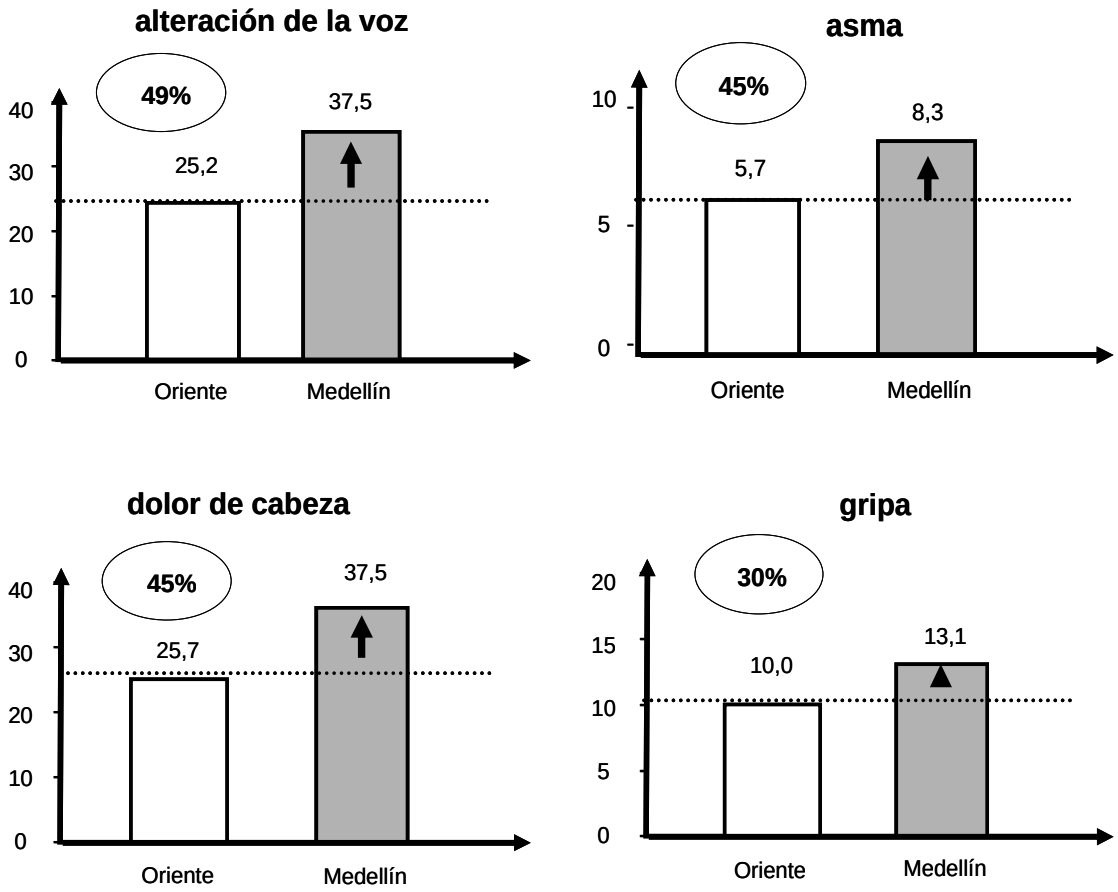


Gráfico 2C. Comparación de síntomas respiratorios entre personas no expuestas (oriente antioqueño) y personas expuestas (Medellín y área metropolitana)
Síntomas menos prevalentes

Los resultados muestran consistencia en relación con todas las variables, es decir, para cada una de las manifestaciones sintomáticas irritativas y respiratorias que fueron evaluadas es posible observar que sistemáticamente la prevalencia es mayor en las personas que se exponen a respirar un aire más contaminado, que para este estudio se refiere a la población que vive y trabaja en Medellín y su área metropolitana. Los incrementos de síntomas varían entre 30% como en el caso de la gripa hasta 160% como se registra para la congestión nasal.

La población que vive en los municipios del oriente antioqueño también registra alguna prevalencia de signos y síntomas respiratorios por otras causas no atribuibles a la contaminación atmosférica.

Síntomas Neuro-sicológicos

Los habitantes del valle del río Medellín o población expuesta presentan excesos de síntomas neurosicológicos en comparación con sus paisanos residentes en el oriente antioqueño y quienes respiran un aire más limpio (tabla 20) (gráfico 2D).

La angustia, el agotamiento y la depresión aparecen como los síntomas que demuestran un mayor contraste, con excesos de 80 - 90% en la población expuesta. Los riesgos relativos y sus correspondientes intervalos de confianza al 95% son: 1.90 (1.48, 2.45); 1.88 (1.55, 2.29) y 1.81 (1.26, 2.60). (gráfico 2E)

El desespero, la irritabilidad y la rabia se presentan en excesos cercanos al 50%, y en niveles de diferencia significativa tanto clínica como epidemiológica.

La tristeza, el pesimismo, el aburrimiento y el nerviosismo también aparecen como síntomas que se presentan más en las comunidades expuestas que en las menos expuestas, en excesos alrededor del 30%. (gráfico 2F)

La comparación estadística de promedios para los síntomas entre ambos grupos confirma los análisis epidemiológicos y reafirma la diferencia clínica para todas las variables estudiadas.

Tabla 20. Síntomas neurosicológicos en individuos más expuestos (60 µg/m^3) y menos expuestos (30 µg/m^3) a la contaminación ambiental

Variable	60 µg/m^3	30 µg/m^3	D(%)	K-W	p
Agotamiento	4,40	3,01	31,59	34.4	0,00
Depresión	2,28	1,60	29,82	8.2	0,00
Desespero	3,26	2,32	28,83	15.0	0,00
Aburrimiento	3,04	2,32	23,68	8.2	0,00
Irritabilidad	4,67	3,20	31,48	38.7	0,00
Angustia	3,63	2,45	32,51	25.0	0,00
Tristeza	3,05	2,50	18,03	5.5	0,01
Nerviosismo	3.18	2,58	18,87	5.6	0,01
Rabia	4,29	3,34	22,14	16.5	0,00
Pesimismo	1,96	1,50	23,47	1.9	0,16

***** Los valores expresan el promedio de la intensidad del impacto percibida para cada variable, escala (0-5)

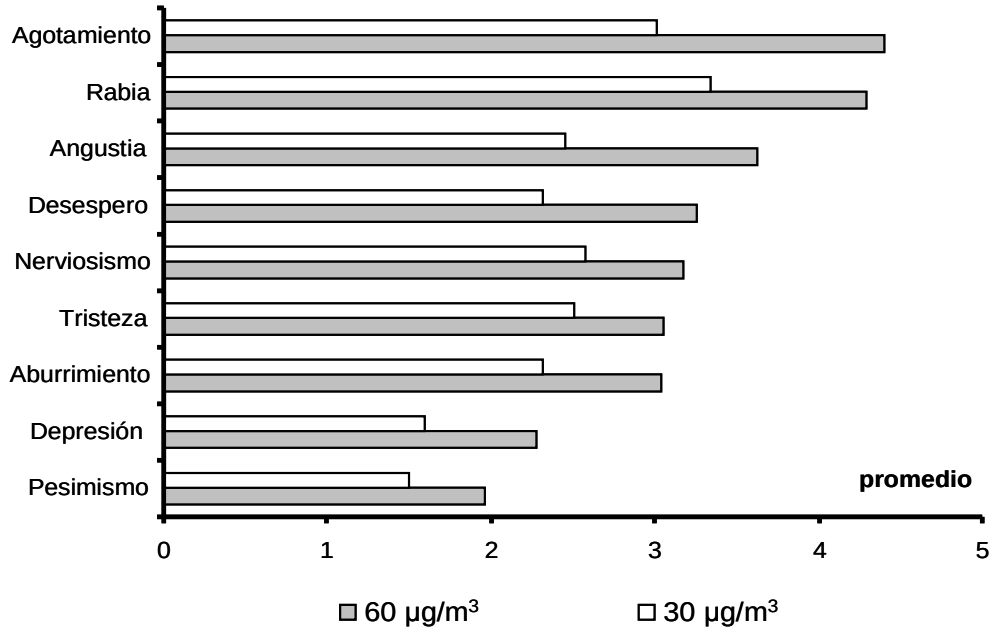


Gráfico 2D. Síntomas neurosicológicos en individuos más expuestos (60 µg/m^3) y menos expuestos (30 µg/m^3) a contaminación ambiental

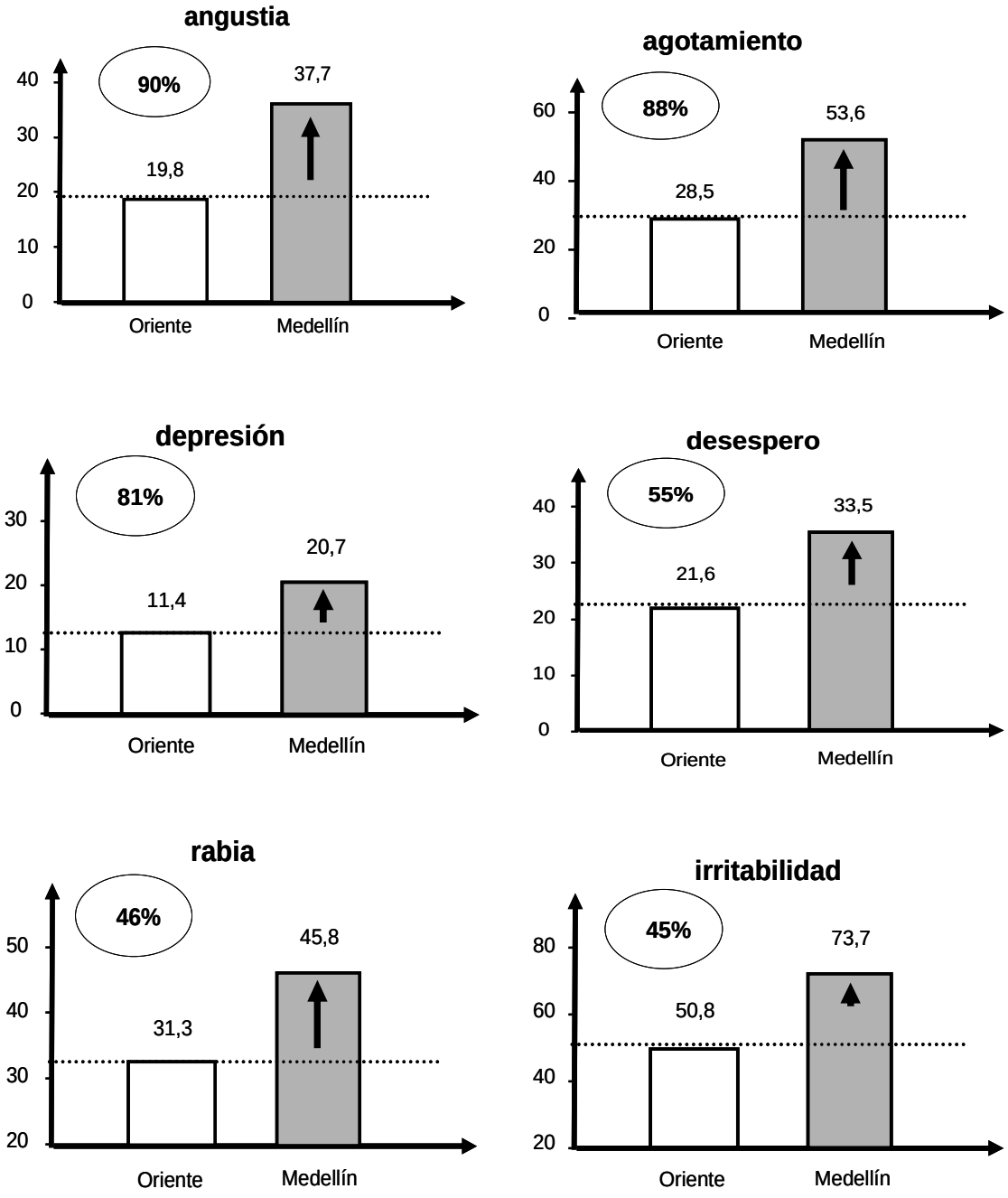


Figura 2E. Comparación de síntomas neurosicológicos entre no expuestos (oriente antioqueño) y expuestos (Medellín y área metropolitana)
Síntomas más prevalentes

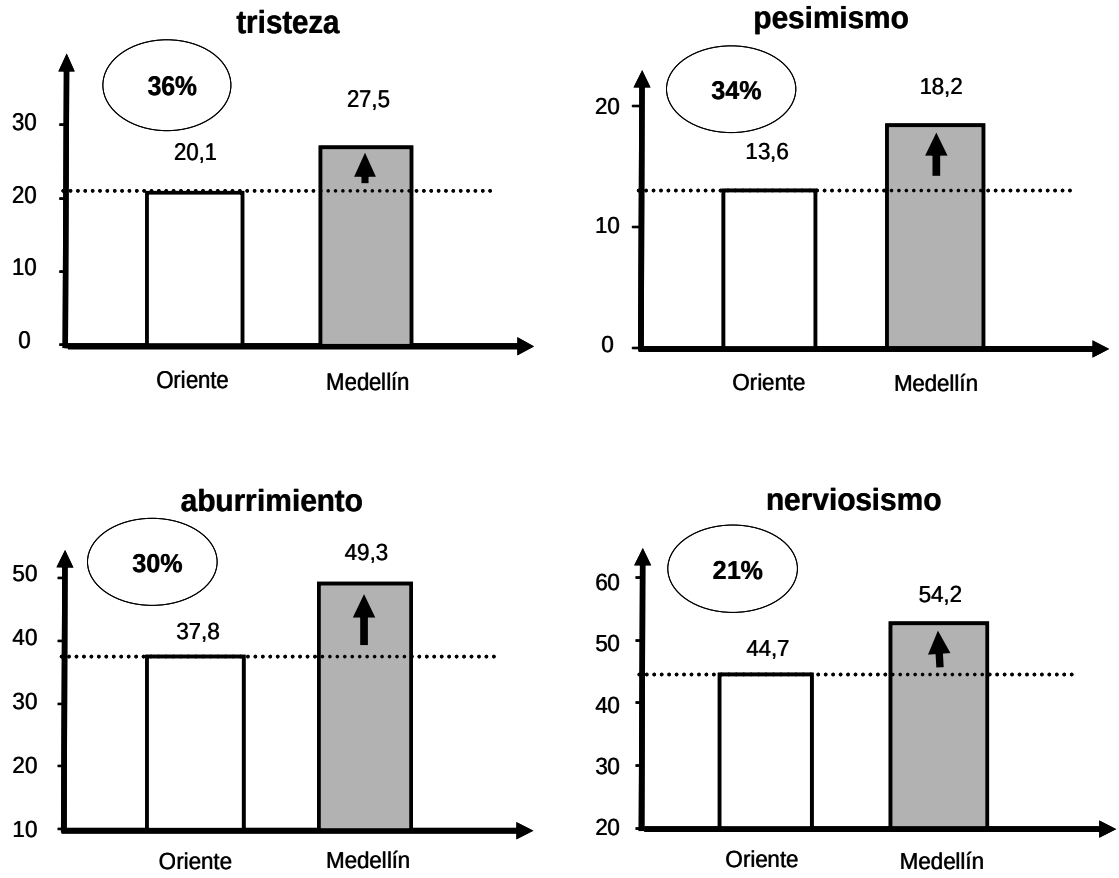


Figura 2F. Comparación de síntomas neurosicológicos entre no expuestos (oriente antioqueño) y expuestos (Medellín y área metropolitana)
Síntomas menos prevalentes

Los resultados muestran consistencia en relación con todas las variables, es decir, para cada una de las manifestaciones sintomáticas de tipo neurosicológico que fueron evaluadas es posible observar que sistemáticamente la prevalencia es mayor en las personas que se exponen a respirar aire más contaminado, que para este estudio se refiere a la población que vive y trabaja en Medellín y su área metropolitana. Los incrementos de síntomas varían entre 21% como en el caso del nerviosismo hasta 90% para el caso de la angustia.

La población que vive en los municipios del oriente antioqueño también registra alguna prevalencia de signos y síntomas neurosicológicos, por otras causas diferentes a la contaminación atmosférica.

Mortalidad

Mortalidad General

La mortalidad general en Medellín presenta un ascenso en los últimos 25 años, alcanzando su punto más crítico a inicios de los años 90's y en armonía con la onda epidémica de violencia que afectó a toda Colombia, pero con un poco más de influencia en la región de Antioquia. No obstante, a pesar de que las tasas de homicidios ya han descendido, una discreta tendencia al ascenso de la mortalidad continúa.

Las tasas de mortalidad general son mayores en Medellín y en los municipios del área metropolitana en comparación con los municipios del oriente antioqueño. La mortalidad por todas las causas en Medellín excede a la del oriente en 26%, RR 1.26 (IC 95 1.25-1.28) X^2 1411 p .00.

Las tasas de mortalidad en el oriente antioqueño se han mantenido constantes, alrededor de 5 muertes por cada 1000 habitantes.

La mortalidad general en Medellín supera a la de Bogotá en 50%, RR 1.51 (IC 95 1.49 - 1.53) X^2 32157 p .00.

Las tasas de mortalidad general en Bogotá muestran una leve tendencia al descenso. Hace 25 años variaban alrededor de 5 muertes por mil habitantes, para comienzos del presente siglo, los valores ya han descendido a un valor constante de 3.7.

La mortalidad general en Medellín es 42% más alta que en toda Colombia RR 1.42 (IC 95 1.41 - 1.43) X^2 33119 p.00.

Las tasas de mortalidad general en Colombia se mantienen en gran estabilidad a lo largo de los últimos 25 años, alrededor de 44 muertes por cada 10 mil habitantes.

	Medellín			Oriente			
Año	Poblacion	Total	Tasa	Poblacion	Total	Tasa	RR
1980	1.485.374	7.800	5,3	169.162	887	5,2	1,00
1981	1.510.041	8.224	5,4	173.922	878	5,0	1,08
1982	1.534.708	8.514	5,5	178.686	922	5,2	1,08
1983	1.559.375	8.307	5,3	183.451	848	4,6	1,15
1984	1.584.042	8.797	5,6	188.215	927	4,9	1,13
1985	1.608.709	9.260	5,8	192.980	911	4,7	1,22
1986	1.633.376	10.033	6,1	197.744	1.026	5,2	1,18
1987	1.658.043	9.925	6,0	202.508	899	4,4	1,35
1988	1.682.710	10.587	6,3	207.273	911	4,4	1,43
1989	1.707.377	10.837	6,3	212.037	1.100	5,2	1,22
1990	1.732.044	11.609	6,7	216.802	1.044	4,8	1,39
1991	1.756.711	11.634	6,6	221.566	1.170	5,3	1,25
1992	1.781.378	12.787	7,2	226.331	1.227	5,4	1,32
1993	1.806.045	13.327	7,4	231.095	1.234	5,3	1,38
1994	1.830.712	13.223	7,2	235.859	1.209	5,1	1,41
1995	1.855.379	13.026	7,0	240.624	1.239	5,1	1,36
1996	1.880.046	13.017	6,9	245.388	1.380	5,6	1,23
1997	1.904.713	12.517	6,6	250.153	1.319	5,3	1,25
1998	1.929.380	12.052	6,2	254.917	1.202	4,7	1,32
1999	1.954.047	12.802	6,6	259.682	1.230	4,7	1,38
2000	1.978.714	12.196	6,2	264.446	1.234	4,7	1,32
2001	2.003.381	12.588	6,3	269.210	1.464	5,4	1,16
2002	2.028.048	12.969	6,4	273.979	1.347	4,9	1,30
2003	2.052.715	12.071	5,9	278.221	1.238	4,4	1,32
2004	2.077.382	11.512	5,5	282.466	1.266	4,5	1,24

Mortalidad General
1980 - 2004

	casos	Poblacion	Tasa
Medellin	279.614	44.534.450	6,3
Oriente	28.112	5.656.717	5,0

RR = 1,26
IC = 1,25 - 1,28
X^2= 1411

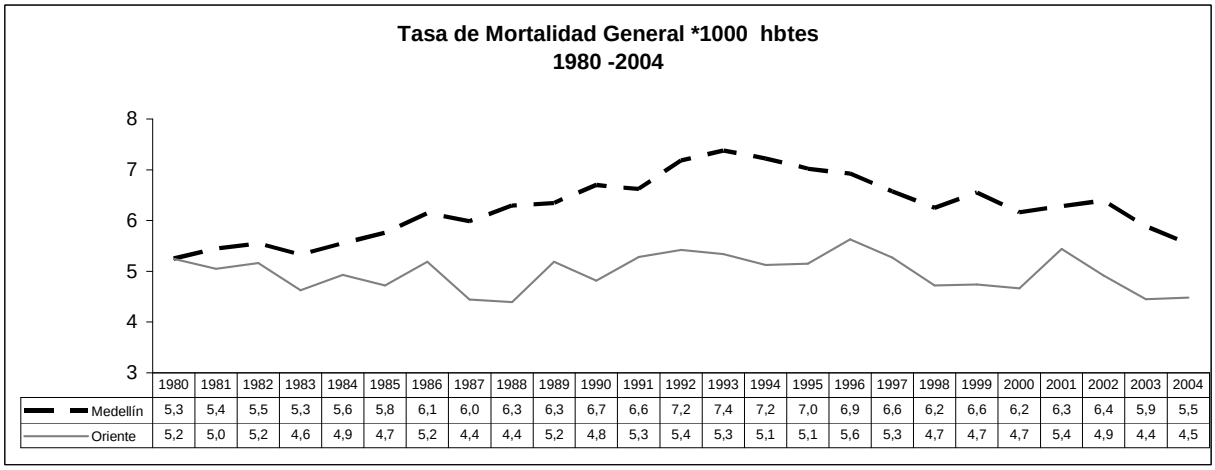


Gráfico 3A. Tasas de mortalidad general en Medellín y el oriente antioqueño. 1980-2004

Las tasas de mortalidad general son mayores en Medellín y en los municipios del área metropolitana en comparación con los municipios del oriente antioqueño. La mortalidad por todas las causas en Medellín excede a la del oriente en 26%, RR 1.26 (IC 95 1.25-1.28) X^2 1411 p .00 (gráfico 3A).

	Bogota			Medellín			
Año	Poblacion	Total	Tasa	Poblacion	Total	Tasa	RR
1980	3.400.542	16.819	4,9	1.485.374	7.800	5,3	1,06
1981	3.551.627	18.551	5,2	1.510.041	8.224	5,4	1,04
1982	3.702.712	16.123	4,4	1.534.708	8.514	5,5	1,27
1983	3.853.797	14.760	3,8	1.559.375	8.307	5,3	1,39
1984	4.004.882	15.987	4,0	1.584.042	8.797	5,6	1,39
1985	4.155.968	19.783	4,8	1.608.709	9.260	5,8	1,21
1986	4.307.053	17.015	4,0	1.633.376	10.033	6,1	1,55
1987	4.458.138	17.558	3,9	1.658.043	9.925	6,0	1,52
1988	4.609.223	17.915	3,9	1.682.710	10.587	6,3	1,62
1989	4.760.309	21.105	4,4	1.707.377	10.837	6,3	1,43
1990	4.911.394	21.571	4,4	1.732.044	11.609	6,7	1,53
1991	5.062.479	22.711	4,5	1.756.711	11.634	6,6	1,48
1992	5.213.564	24.096	4,6	1.781.378	12.787	7,2	1,55
1993	5.364.649	25.591	4,8	1.806.045	13.327	7,4	1,55
1994	5.515.735	25.997	4,7	1.830.712	13.223	7,2	1,53
1995	5.666.820	25.124	4,4	1.855.379	13.026	7,0	1,58
1996	5.817.905	23.316	4,0	1.880.046	13.017	6,9	1,73
1997	5.968.990	21.241	3,6	1.904.713	12.517	6,6	1,85
1998	6.120.076	23.796	3,9	1.929.380	12.052	6,2	1,61
1999	6.271.161	25.296	4,0	1.954.047	12.802	6,6	1,62
2000	6.422.246	24.768	3,9	1.978.714	12.196	6,2	1,60
2001	6.573.331	25.117	3,8	2.003.381	12.588	6,3	1,64
2002	6.724.416	24.964	3,7	2.028.048	12.969	6,4	1,72
2003	6.875.502	25.659	3,7	2.052.715	12.071	5,9	1,58
2004	7.026.587	26.219	3,7	2.077.382	11.512	5,5	1,49

Mortalidad General
1980 - 2004

	casos	Poblacion	Tasa
Medellin	279.614	44.534.450	6,3
Bogota	541.082	130.339.106	4,2

RR = 1,51
IC = 1,49 - 1,53
X^2 = 32157

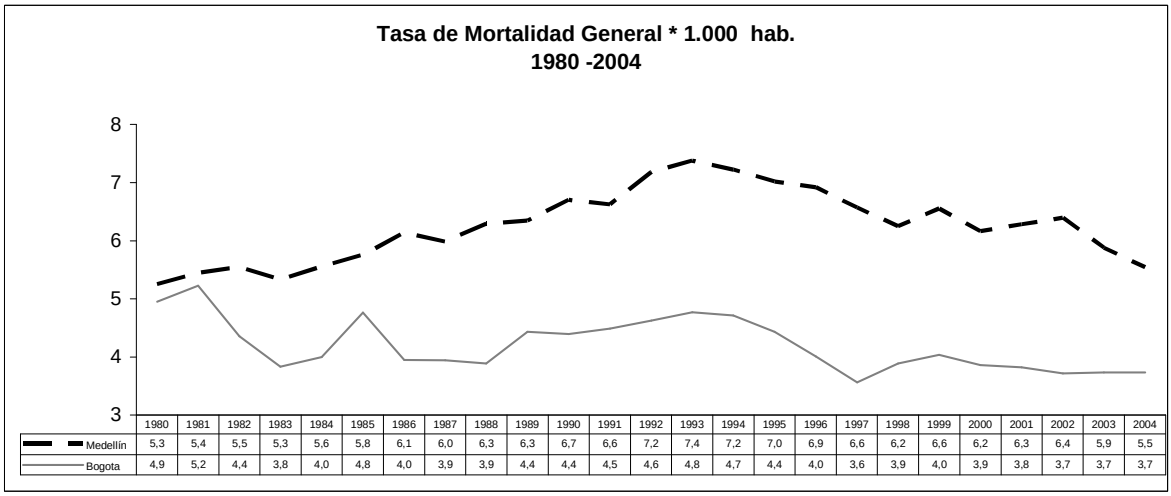


Gráfico 3B. Tasa de mortalidad general en Medellín y Bogotá. 1980-2004

La mortalidad general en Medellín supera a la de Bogotá en 50%, RR 1.51 (IC 95 1.49 - 1.53) X^2 32157 p .00 (gráfico 3B).

	Colombia			Medellín			
Año	Poblacion	Total	Tasa	Poblacion	Total	Tasa	RR
1980	28.446.598	115.057	4,0	1.485.374	7.800	5,3	1,30
1981	29.150.538	139.505	4,8	1.510.041	8.224	5,4	1,14
1982	29.854.479	137.678	4,6	1.534.708	8.514	5,5	1,20
1983	30.558.419	140.292	4,6	1.559.375	8.307	5,3	1,16
1984	31.262.360	137.189	4,4	1.584.042	8.797	5,6	1,27
1985	31.966.300	153.947	4,8	1.608.709	9.260	5,8	1,20
1986	32.670.241	146.346	4,5	1.633.376	10.033	6,1	1,37
1987	33.374.181	151.957	4,6	1.658.043	9.925	6,0	1,31
1988	34.078.122	150.938	4,4	1.682.710	10.587	6,3	1,42
1989	34.782.062	154.694	4,4	1.707.377	10.837	6,3	1,43
1990	35.486.002	154.685	4,4	1.732.044	11.609	6,7	1,54
1991	36.189.943	163.692	4,5	1.756.711	11.634	6,6	1,46
1992	36.893.883	167.743	4,5	1.781.378	12.787	7,2	1,58
1993	37.597.824	168.647	4,5	1.806.045	13.327	7,4	1,65
1994	38.301.764	168.568	4,4	1.830.712	13.223	7,2	1,64
1995	39.005.705	172.515	4,4	1.855.379	13.026	7,0	1,59
1996	39.709.645	173.506	4,4	1.880.046	13.017	6,9	1,58
1997	40.413.585	170.532	4,2	1.904.713	12.517	6,6	1,56
1998	41.117.526	175.363	4,3	1.929.380	12.052	6,2	1,46
1999	41.821.466	183.553	4,4	1.954.047	12.802	6,6	1,49
2000	42.525.407	183.844	4,3	1.978.714	12.196	6,2	1,43
2001	43.229.347	184.474	4,3	2.003.381	12.588	6,3	1,47
2002	43.933.288	192.263	4,4	2.028.048	12.969	6,4	1,46
2003	44.637.228	192.120	4,3	2.052.715	12.071	5,9	1,37
2004	45.341.169	188.933	4,2	2.077.382	11.512	5,5	1,33

Mortalidad General
1980 - 2004

	casos	Poblacion	Tasa
Medellin	279.614	44.534.450	6,3
Colombia	4.068.041	922.347.082	4,4

RR = 1,42
IC = 1,41 - 1,43
X^2= 33119

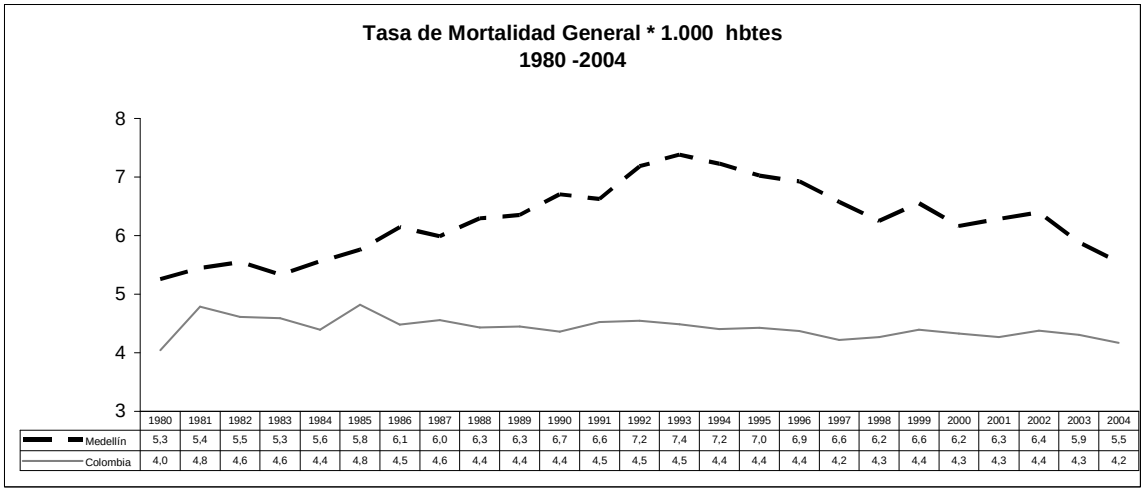


Gráfico 3C. Tasa de mortalidad general en Medellín y Colombia. 1980-2004

La mortalidad general en Medellín es 42% más alta que en toda Colombia RR 1.42 (IC 95 1.41 - 1.43) X^2 33119 p.00 (gráfico 3C).

Mortalidad por Cardiorrespiratorias

La mortalidad por enfermedades cardiorrespiratorias en Medellín muestra una tendencia al aumento en el lapso de los últimos 25 años, las cifras de muertes absolutas varían entre 2.983 y 4.520 casos de muerte por año por esta causa.

En relación con las tasas de mortalidad la tendencia también muestra un discreto ascenso en el último cuarto de siglo. Las tasas varían entre 200 y 220 fallecimientos específicos por esta causa por cada 100 mil habitantes.

En Medellín se presentaron 98.302 casos en su seguimiento de 44'534.450 años-persona, en contraste con 10.128 casos en un seguimiento de 5'656.717 años-persona para el oriente antioqueño.

La mortalidad por enfermedad cardiorespiratoria en Medellín excede en un 23% a las muertes ocurridas por la misma causa en los municipios del oriente antioqueño RR 1.23 (IC95 1,21 – 1,26) X^2 405 p .00.

Con respecto a Bogotá el exceso de mortalidad es de 35% en un seguimiento de 130'339.106 años-persona para la capital de la República.

El exceso de mortalidad por esta causa con respecto a la totalidad del país es de 35% RR 1,35 (IC95 1,34 – 1,36) X^2 8515 p ,00.

El seguimiento para Colombia implica la observación de la mortalidad por enfermedades cardiorespiratorias en una población que hace 25 años era de 28 millones y en el 2004 habría aumentado a 45 millones.

	Medellín			Oriente			
Año	Poblacion	Card_r	Tasa	Poblacion	Card_r	Tasa	RR
1980	1.485.374	2.983	200,8	169.162	321	189,8	1,06
1981	1.510.041	3.238	214,4	173.922	345	198,4	1,08
1982	1.534.708	3.319	216,3	178.686	329	184,1	1,17
1983	1.559.375	3.282	210,5	183.451	313	170,6	1,23
1984	1.584.042	3.435	216,9	188.215	355	188,6	1,15
1985	1.608.709	3.549	220,6	192.980	383	198,5	1,11
1986	1.633.376	3.614	221,3	197.744	362	183,1	1,21
1987	1.658.043	3.555	214,4	202.508	340	167,9	1,28
1988	1.682.710	3.886	230,9	207.273	357	172,2	1,34
1989	1.707.377	3.794	222,2	212.037	415	195,7	1,14
1990	1.732.044	3.849	222,2	216.802	408	188,2	1,18
1991	1.756.711	3.810	216,9	221.566	406	183,2	1,18
1992	1.781.378	4.083	229,2	226.331	412	182,0	1,26
1993	1.806.045	4.304	238,3	231.095	439	190,0	1,25
1994	1.830.712	4.387	239,6	235.859	417	176,8	1,36
1995	1.855.379	4.565	246,0	240.624	476	197,8	1,24
1996	1.880.046	4.657	247,7	245.388	502	204,6	1,21
1997	1.904.713	4.410	231,5	250.153	474	189,5	1,22
1998	1.929.380	4.128	214,0	254.917	403	158,1	1,35
1999	1.954.047	4.233	216,6	259.682	446	171,7	1,26
2000	1.978.714	3.815	192,8	264.446	394	149,0	1,29
2001	2.003.381	4.135	206,4	269.210	436	162,0	1,27
2002	2.028.048	4.189	206,6	273.979	424	154,8	1,33
2003	2.052.715	4.562	222,2	278.221	476	171,1	1,30
2004	2.077.382	4.520	217,6	282.466	495	175,2	1,24

Mortalidad por Cardio-respiratorias
1980 - 2004

	Casos	Poblacion	Tasa
Medellin	98.302	44.534.450	220,7
Oriente	10.128	5.656.717	179,0

RR = 1,23
IC = 1,21 - 1,26
X^2= 404,7

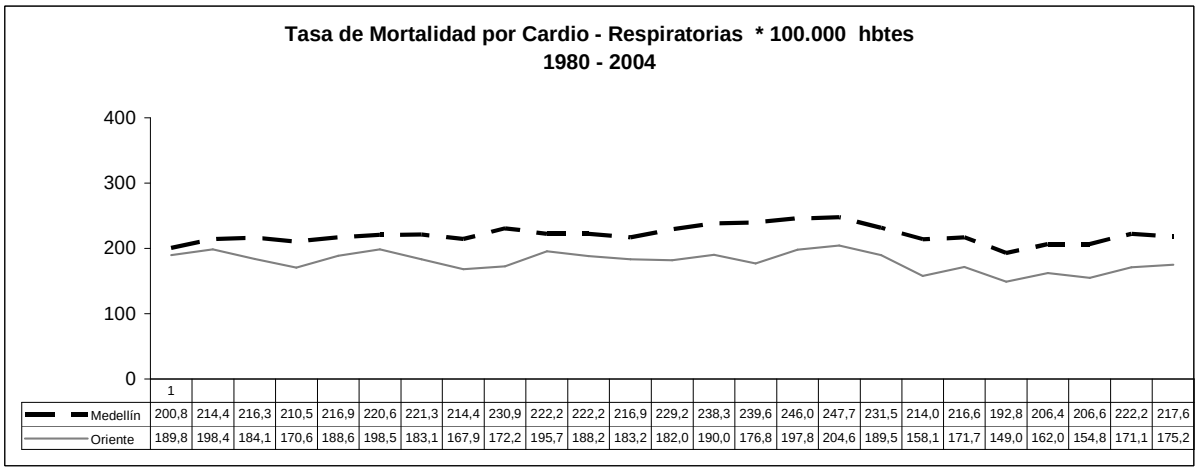


Gráfico 4A. Tasa de mortalidad por enfermedad cardiorrespiratoria en Medellín y el oriente antioqueño, 1980-2004.

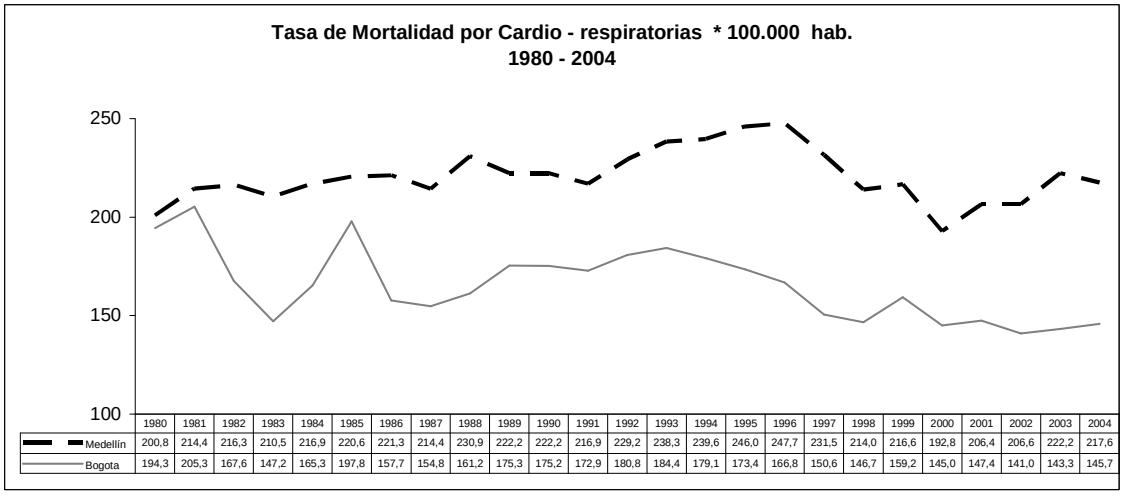
En Medellín se presentaron 98.302 casos en su seguimiento de 44’534.450 años-persona, en contraste con 10.128 casos en un seguimiento de 5’656.717 años-persona para el oriente antioqueño. (Gráfico 4A)

	Bogota			Medellín			
Año	Poblacion	Card_res	Tasa	Poblacion	Card_res	Tasa	RR
1980	3.400.542	6.608	194,3	1.485.374	2.983	200,8	1,03
1981	3.551.627	7.291	205,3	1.510.041	3.238	214,4	1,04
1982	3.702.712	6.205	167,6	1.534.708	3.319	216,3	1,29
1983	3.853.797	5.671	147,2	1.559.375	3.282	210,5	1,43
1984	4.004.882	6.621	165,3	1.584.042	3.435	216,9	1,31
1985	4.155.968	8.220	197,8	1.608.709	3.549	220,6	1,12
1986	4.307.053	6.791	157,7	1.633.376	3.614	221,3	1,40
1987	4.458.138	6.901	154,8	1.658.043	3.555	214,4	1,39
1988	4.609.223	7.431	161,2	1.682.710	3.886	230,9	1,43
1989	4.760.309	8.346	175,3	1.707.377	3.794	222,2	1,27
1990	4.911.394	8.605	175,2	1.732.044	3.849	222,2	1,27
1991	5.062.479	8.752	172,9	1.756.711	3.810	216,9	1,25
1992	5.213.564	9.427	180,8	1.781.378	4.083	229,2	1,27
1993	5.364.649	9.893	184,4	1.806.045	4.304	238,3	1,29
1994	5.515.735	9.878	179,1	1.830.712	4.387	239,6	1,34
1995	5.666.820	9.828	173,4	1.855.379	4.565	246,0	1,42
1996	5.817.905	9.705	166,8	1.880.046	4.657	247,7	1,48
1997	5.968.990	8.990	150,6	1.904.713	4.410	231,5	1,54
1998	6.120.076	8.976	146,7	1.929.380	4.128	214,0	1,46
1999	6.271.161	9.984	159,2	1.954.047	4.233	216,6	1,36
2000	6.422.246	9.312	145,0	1.978.714	3.815	192,8	1,33
2001	6.573.331	9.690	147,4	2.003.381	4.135	206,4	1,40
2002	6.724.416	9.482	141,0	2.028.048	4.189	206,6	1,46
2003	6.875.502	9.853	143,3	2.052.715	4.562	222,2	1,55
2004	7.026.587	10.241	145,7	2.077.382	4.520	217,6	1,49

Mortalidad por Cardio-respiratorias
1980 - 2004

	Casos	Poblacion	Tasa
Medellin	98.302	44.534.450	220,7
Bogota	212.701	130.339.106	163,2

RR = 1,35
IC = 1,34 - 1,36
X^2 =6191



	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Medellín	200,8	214,4	216,3	210,5	216,9	220,6	221,3	214,4	230,9	222,2	222,2	216,9	229,2	238,3	239,6	246,0	247,7	231,5	214,0	216,6	192,8	206,4	206,6	222,2	217,6
Bogota	194,3	205,3	167,6	147,2	165,3	197,8	157,7	154,8	161,2	175,3	175,2	172,9	180,8	184,4	179,1	173,4	166,8	150,6	146,7	159,2	145,0	147,4	141,0	143,3	145,7

Gráfico 4B. Tasa de mortalidad por enfermedad cardiorrespiratoria en Medellín y Bogotá. 1980-2004.

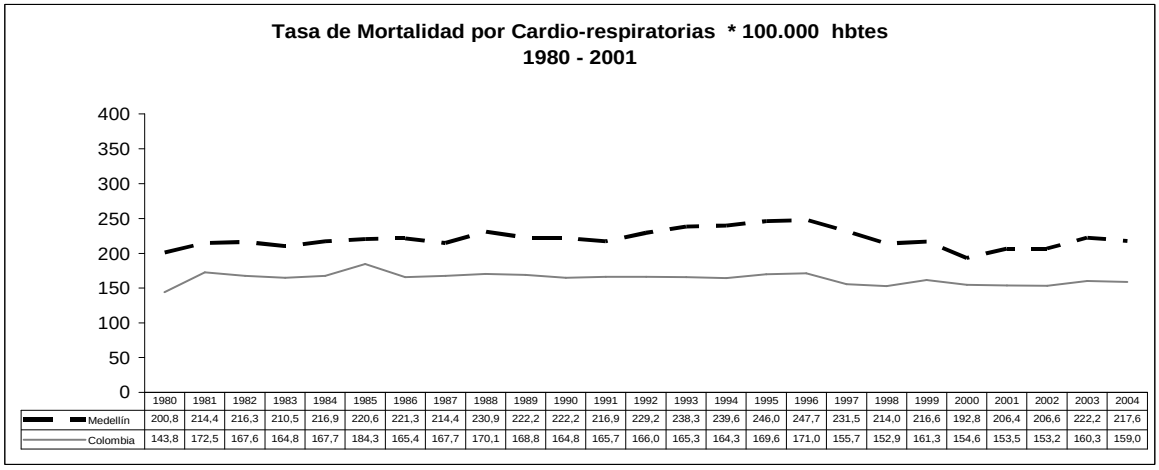
Con respecto a Bogotá el exceso de mortalidad es de 35% en un seguimiento de 130’339.106 años-persona para la capital de la República. (Gráfico 4B)

	Colombia			Medellín			
Año	Poblacion	Card_r	Tasa	Poblacion	Card_r	Tasa	RR
1980	28.446.598	40.913	143,8	1.485.374	2.983	200,8	1,40
1981	29.150.538	50.285	172,5	1.510.041	3.238	214,4	1,24
1982	29.854.479	50.045	167,6	1.534.708	3.319	216,3	1,29
1983	30.558.419	50.373	164,8	1.559.375	3.282	210,5	1,28
1984	31.262.360	52.416	167,7	1.584.042	3.435	216,9	1,29
1985	31.966.300	58.910	184,3	1.608.709	3.549	220,6	1,20
1986	32.670.241	54.023	165,4	1.633.376	3.614	221,3	1,34
1987	33.374.181	55.962	167,7	1.658.043	3.555	214,4	1,28
1988	34.078.122	57.956	170,1	1.682.710	3.886	230,9	1,36
1989	34.782.062	58.710	168,8	1.707.377	3.794	222,2	1,32
1990	35.486.002	58.468	164,8	1.732.044	3.849	222,2	1,35
1991	36.189.943	59.967	165,7	1.756.711	3.810	216,9	1,31
1992	36.893.883	61.232	166,0	1.781.378	4.083	229,2	1,38
1993	37.597.824	62.163	165,3	1.806.045	4.304	238,3	1,44
1994	38.301.764	62.912	164,3	1.830.712	4.387	239,6	1,46
1995	39.005.705	66.144	169,6	1.855.379	4.565	246,0	1,45
1996	39.709.645	67.898	171,0	1.880.046	4.657	247,7	1,45
1997	40.413.585	62.916	155,7	1.904.713	4.410	231,5	1,49
1998	41.117.526	62.856	152,9	1.929.380	4.128	214,0	1,40
1999	41.821.466	67.466	161,3	1.954.047	4.233	216,6	1,34
2000	42.525.407	65.751	154,6	1.978.714	3.815	192,8	1,25
2001	43.229.347	66.366	153,5	2.003.381	4.135	206,4	1,34
2002	43.933.288	67.307	153,2	2.028.048	4.189	206,6	1,35
2003	44.637.228	71.556	160,3	2.052.715	4.562	222,2	1,39
2004	45.341.169	72.070	159,0	2.077.382	4.520	217,6	1,37

Mortalidad por Cardiorespiratorias
1980 - 2004

	Casos	Poblacion	Tasa
Medellin	98.302	44.534.450	220,7
Colombia	1.504.665	922.347.082	163,1

RR = 1,35
IC = 1,34 - 1,36
X^2= 8515



	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Medellín	200,8	214,4	216,3	210,5	216,9	220,6	221,3	214,4	230,9	222,2	222,2	216,9	229,2	238,3	239,6	246,0	247,7	231,5	214,0	216,6	192,8	206,4	206,6	222,2	217,6
Colombia	143,8	172,5	167,6	164,8	167,7	184,3	165,4	167,7	170,1	168,8	164,8	165,7	166,0	165,3	164,3	169,6	171,0	155,7	152,9	161,3	154,6	153,5	153,2	160,3	159,0

Gráfico 4C. Tasa de mortalidad por enfermedad cardiorrespiratorias en Medellín y Colombia 1980-2004.

El seguimiento para Colombia implica la observación de la mortalidad por enfermedades cardiorespiratorias en una población que hace 25 años era de 28 millones y en el 2004 habría aumentado a 45 millones. (Gráfico 4C)

Mortalidad por Enfermedades Respiratorias Crónicas

El número de personas que fallecen en Medellín por causa de las enfermedades respiratorias crónicas es cada vez más alto. Para 1980 morían 264 personas por esta causa en la ciudad y ya para el año 2004 este valor se había triplicado con 840 (gráfico 5A).

La mortalidad por enfermedades respiratorias crónicas en Medellín viene aumentando en el transcurso de los últimos 25 años. Las tasas que en 1981 eran de 16.7 por 100 mil habitantes, ya se han aumentado en 150% para el año 2004 (gráfico 5B).

La mortalidad por enfermedades respiratorias crónicas en Medellín, presenta un exceso de 26% en comparación con los datos correspondientes al oriente antioqueño, RR 1.26 (IC 95 1.19-1.33) X^2 67.7 p .00.

Medellín también muestra un exceso de mortalidad por esta causa de 92% en relación con la mortalidad de Bogotá, RR 1.92 (IC 95 1.88-1.96) X^2 3765 p .00.

Con respecto a Colombia, la mortalidad por enfermedades respiratorias crónicas también muestra un exceso de 87%, RR 1.87 (IC 95 1.84-1.90) X^2 5264 p .00.

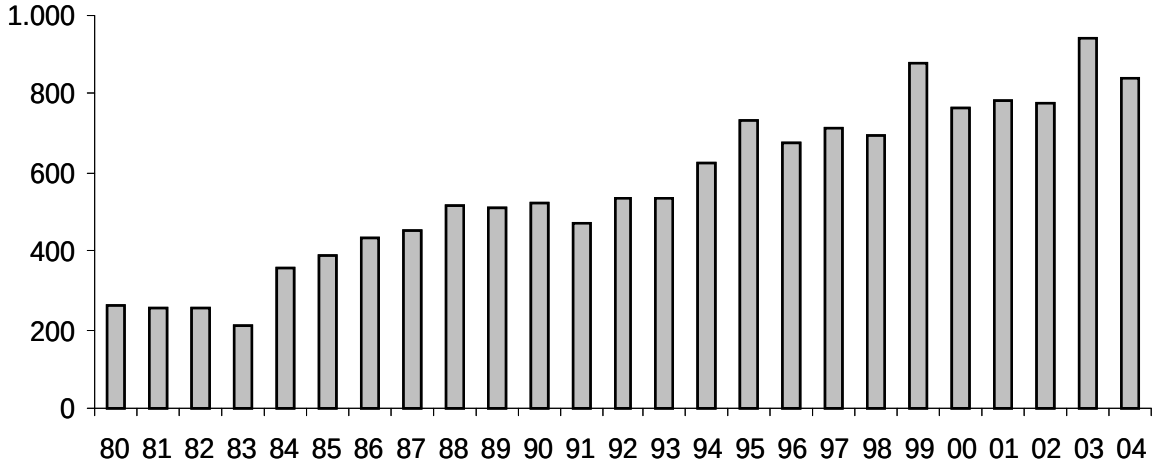
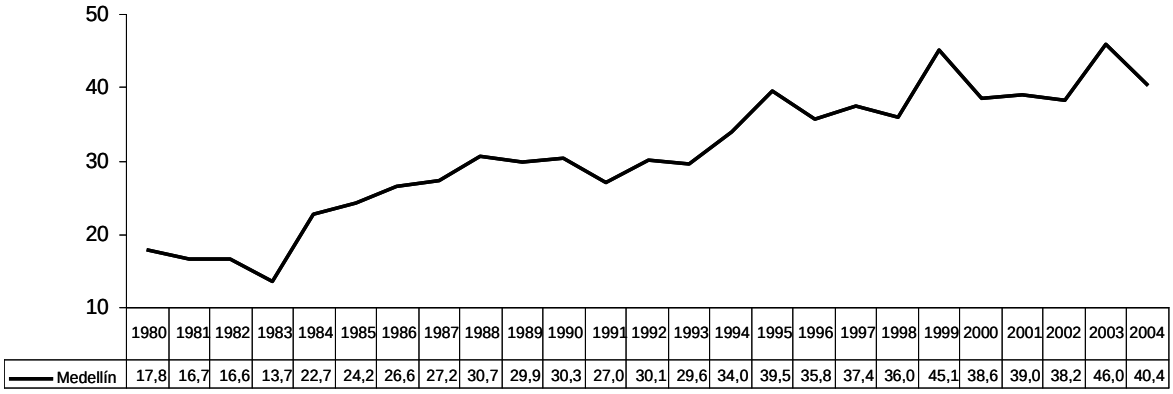


Gráfico 5A. Mortalidad por enfermedad respiratoria crónica en Medellín. 1980-2004



	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Medellín	17,8	16,7	16,6	13,7	22,7	24,2	26,6	27,2	30,7	29,9	30,3	27,0	30,1	29,6	34,0	39,5	35,8	37,4	36,0	45,1	38,6	39,0	38,2	46,0	40,4

Gráfico 5B. Tasa de mortalidad por enfermedad respiratoria crónica en Medellín. 1980-2004.

	Medellín			Oriente			
Año	Poblacion	Resp	Tasa	Poblacion	Resp	Tasa	RR
1980	1.485.374	264	17,8	169.162	33	19,5	0,91
1981	1.510.041	252	16,7	173.922	25	14,4	1,16
1982	1.534.708	255	16,6	178.686	23	12,9	1,29
1983	1.559.375	213	13,7	183.451	22	12,0	1,14
1984	1.584.042	359	22,7	188.215	38	20,2	1,12
1985	1.608.709	389	24,2	192.980	48	24,9	0,97
1986	1.633.376	435	26,6	197.744	45	22,8	1,17
1987	1.658.043	451	27,2	202.508	45	22,2	1,22
1988	1.682.710	517	30,7	207.273	50	24,1	1,27
1989	1.707.377	511	29,9	212.037	56	26,4	1,13
1990	1.732.044	525	30,3	216.802	57	26,3	1,15
1991	1.756.711	474	27,0	221.566	56	25,3	1,07
1992	1.781.378	537	30,1	226.331	56	24,7	1,22
1993	1.806.045	534	29,6	231.095	73	31,6	0,94
1994	1.830.712	622	34,0	235.859	63	26,7	1,27
1995	1.855.379	732	39,5	240.624	63	26,2	1,51
1996	1.880.046	673	35,8	245.388	41	16,7	2,14
1997	1.904.713	713	37,4	250.153	64	25,6	1,46
1998	1.929.380	695	36,0	254.917	58	22,8	1,58
1999	1.954.047	882	45,1	259.682	77	29,7	1,52
2000	1.978.714	764	38,6	264.446	67	25,3	1,52
2001	2.003.381	782	39,0	269.210	82	30,5	1,28
2002	2.028.048	775	38,2	273.979	100	36,5	1,05
2003	2.052.715	944	46,0	278.221	98	35,2	1,31
2004	2.077.382	840	40,4	282.466	90	31,9	1,27

Mortalidad por Resp crónicas
1980 - 2004

	Casos	Poblacion	Tasa
Medellin	14.138	44.534.450	31,7
Oriente	1.430	5.656.717	25,3

RR = 1,26
IC = 1,19 - 1,33
X^2= 67,7

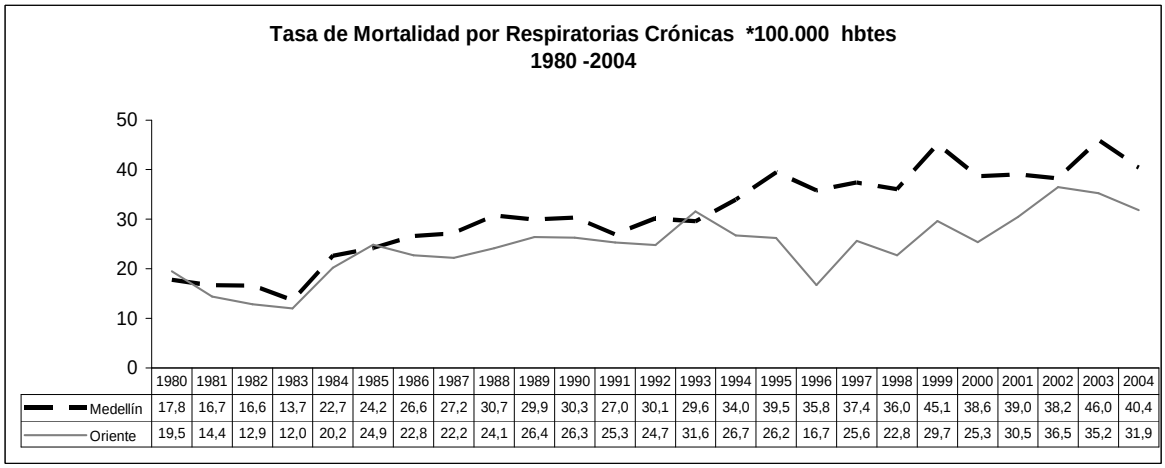


Gráfico 5C. Tasa de mortalidad por enfermedad respiratoria crónica en Medellín y Oriente. 1980-2004.

La mortalidad por enfermedades respiratorias crónicas en Medellín, presenta un exceso de 26% en comparación con los datos correspondientes al oriente antioqueño, RR 1.26 (IC 95 1.19-1.33) X^2 67.7 p .00 (gráfico 5C).

	Bogota			Medellín			
Año	Poblacion	Resp	Tasa	Poblacion	Resp	Tasa	RR
1980	3.400.542	398	11,7	1.485.374	264	17,8	1,52
1981	3.551.627	428	12,1	1.510.041	252	16,7	1,38
1982	3.702.712	486	13,1	1.534.708	255	16,6	1,27
1983	3.853.797	362	9,4	1.559.375	213	13,7	1,45
1984	4.004.882	470	11,7	1.584.042	359	22,7	1,93
1985	4.155.968	769	18,5	1.608.709	389	24,2	1,31
1986	4.307.053	556	12,9	1.633.376	435	26,6	2,06
1987	4.458.138	610	13,7	1.658.043	451	27,2	1,99
1988	4.609.223	712	15,4	1.682.710	517	30,7	1,99
1989	4.760.309	766	16,1	1.707.377	511	29,9	1,86
1990	4.911.394	786	16,0	1.732.044	525	30,3	1,89
1991	5.062.479	785	15,5	1.756.711	474	27,0	1,74
1992	5.213.564	931	17,9	1.781.378	537	30,1	1,69
1993	5.364.649	1.081	20,2	1.806.045	534	29,6	1,47
1994	5.515.735	988	17,9	1.830.712	622	34,0	1,90
1995	5.666.820	1.012	17,9	1.855.379	732	39,5	2,21
1996	5.817.905	945	16,2	1.880.046	673	35,8	2,20
1997	5.968.990	986	16,5	1.904.713	713	37,4	2,27
1998	6.120.076	922	15,1	1.929.380	695	36,0	2,39
1999	6.271.161	1.238	19,7	1.954.047	882	45,1	2,29
2000	6.422.246	1.065	16,6	1.978.714	764	38,6	2,33
2001	6.573.331	1.076	16,4	2.003.381	782	39,0	2,38
2002	6.724.416	1.202	17,9	2.028.048	775	38,2	2,14
2003	6.875.502	1.468	21,4	2.052.715	944	46,0	2,15
2004	7.026.587	1.507	21,4	2.077.382	840	40,4	1,89

Mortalidad por Resp crónicas
1980 - 2004

	Casos	Poblacion	Tasa
Medellin	14.138	44.534.450	31,7
Bogota	21.549	130.339.106	16,5

RR = 1,92
IC = 1,88 - 1,96
X_2 = 3765,2

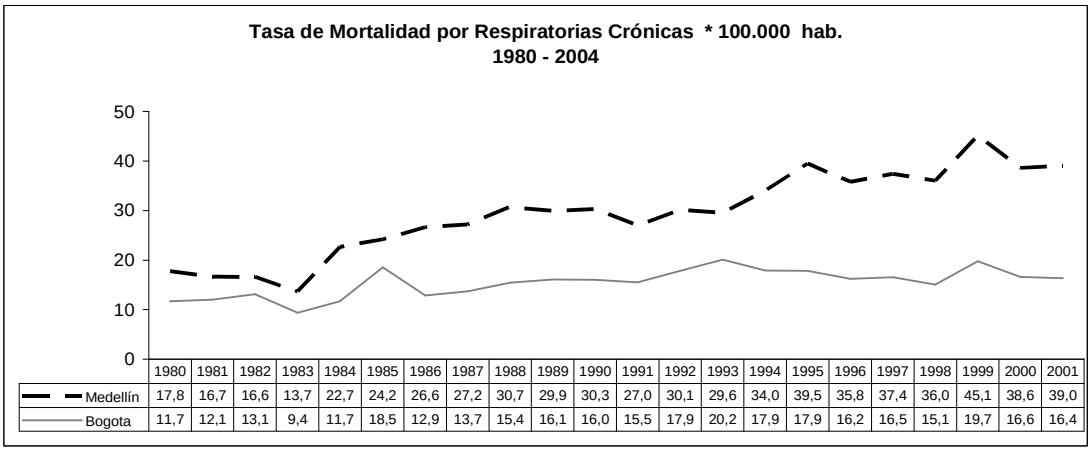


Gráfico 5D. Tasa de mortalidad por enfermedad respiratoria crónica en Medellín y Bogotá. 1980-2004.

Medellín también muestra un exceso de mortalidad por esta causa de 92% en relación con la mortalidad de Bogotá, RR 1.92 (IC 95 1.88-1.96) X^2 3765 p .00 (gráfico 5D).

	Colombia			Medellín			
Año	Poblacion	Resp	Tasa	Poblacion	Resp	Tasa	RR
1980	28.446.598	3.596	12,6	1.485.374	264	17,8	1,41
1981	29.150.538	4.137	14,2	1.510.041	252	16,7	1,18
1982	29.854.479	4.034	13,5	1.534.708	255	16,6	1,23
1983	30.558.419	3.999	13,1	1.559.375	213	13,7	1,04
1984	31.262.360	4.431	14,2	1.584.042	359	22,7	1,60
1985	31.966.300	5.110	16,0	1.608.709	389	24,2	1,51
1986	32.670.241	4.674	14,3	1.633.376	435	26,6	1,86
1987	33.374.181	4.952	14,8	1.658.043	451	27,2	1,83
1988	34.078.122	5.143	15,1	1.682.710	517	30,7	2,04
1989	34.782.062	5.049	14,5	1.707.377	511	29,9	2,06
1990	35.486.002	5.096	14,4	1.732.044	525	30,3	2,11
1991	36.189.943	4.957	13,7	1.756.711	474	27,0	1,97
1992	36.893.883	5.642	15,3	1.781.378	537	30,1	1,97
1993	37.597.824	5.671	15,1	1.806.045	534	29,6	1,96
1994	38.301.764	6.051	15,8	1.830.712	622	34,0	2,15
1995	39.005.705	7.080	18,2	1.855.379	732	39,5	2,17
1996	39.709.645	7.338	18,5	1.880.046	673	35,8	1,94
1997	40.413.585	7.275	18,0	1.904.713	713	37,4	2,08
1998	41.117.526	7.888	19,2	1.929.380	695	36,0	1,88
1999	41.821.466	9.441	22,6	1.954.047	882	45,1	2,00
2000	42.525.407	8.135	19,1	1.978.714	764	38,6	2,02
2001	43.229.347	8.394	19,4	2.003.381	782	39,0	2,01
2002	43.933.288	8.606	19,6	2.028.048	775	38,2	1,95
2003	44.637.228	10.066	22,6	2.052.715	944	46,0	2,04
2004	45.341.169	9.687	21,4	2.077.382	840	40,4	1,89

Mortalidad por Resp crónicas
1980 - 2004

	Casos	Poblacion	Tasa
Medellin	14.138	44.534.450	31,7
Colombia	156.452	922.347.082	17,0

RR = 1,87
IC = 1,84 - 1,90
X^2= 5264

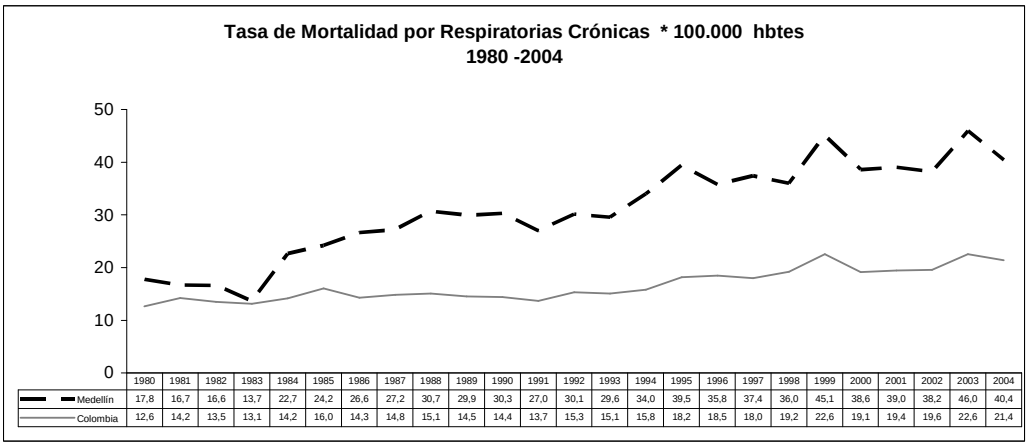


Gráfico 5E. Tasa de mortalidad por enfermedad respiratoria crónica en Colombia y Medellín. 1980-2004.

Con respecto a Colombia, la mortalidad por enfermedades respiratorias crónicas también muestra un exceso de 87%, RR 1.87 (IC 95 1.84-1.90) X^2 5264 p .00 (gráfico 5E).

Mortalidad por Cáncer de pulmón

El número absoluto de muertes por cáncer de pulmón en Medellín viene aumentando desde hace 25 años. En 1980 se contaban 175 muertes anuales por esta causa, para el 2004 el número de muertes ya supera los 421 casos anuales.

Las tasas de mortalidad por cáncer de pulmón en Medellín ascienden desde 11.8 por 100 mil hab en 1980 hasta 20.3 en el año 2004 (aumenta un 90 % en 25 años). También la mortalidad por cáncer de pulmón en el oriente muestra un leve ascenso durante el mismo período. Las cifras van desde 5.9 hasta 13.1.

Los 7260 casos de muerte en Medellín por cáncer de pulmón, en un seguimiento de 44'534.450 años - persona, contrastan con los 513 de la región de oriente en un seguimiento de 5'656.717 años - persona. Las tasas de mortalidad global por esta causa representan 16.3 y 9.1 por 100.000 hab respectivamente. El Riesgo Relativo RR alcanzó el valor de 1.80 IC 95 % (1.65, 1.96).

La mortalidad por cáncer de pulmón está claramente asociada con una mayor exposición al material particulado. Un incremento en 10 $\mu g/m^3$ de PM_{10} estaría asociado con un incremento hasta del 20 % en las muertes por esta enfermedad. La tendencia señala un crecimiento en los últimos años a razón de 16 % por cada 5 años.

La mortalidad por cáncer de pulmón en Medellín es 3.4 veces la mortalidad por la misma causa en Bogotá RR 3.38 (IC95 3.29 – 3.57) X^2 5639 p .00.

La mortalidad por cáncer de pulmón en Medellín es 2.7 veces la mortalidad de Colombia por la misma causa RR 2.7 (IC95 2.64 - 2.78) X^2 6918 p .00.

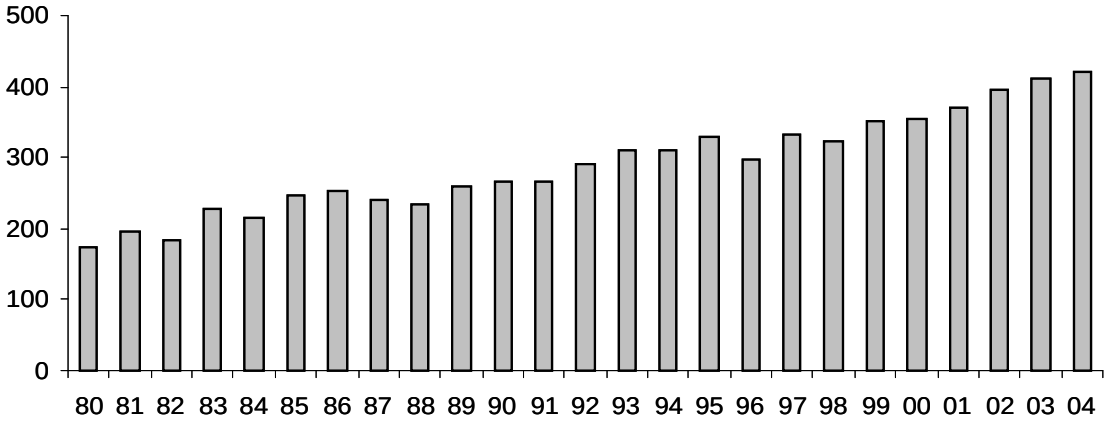
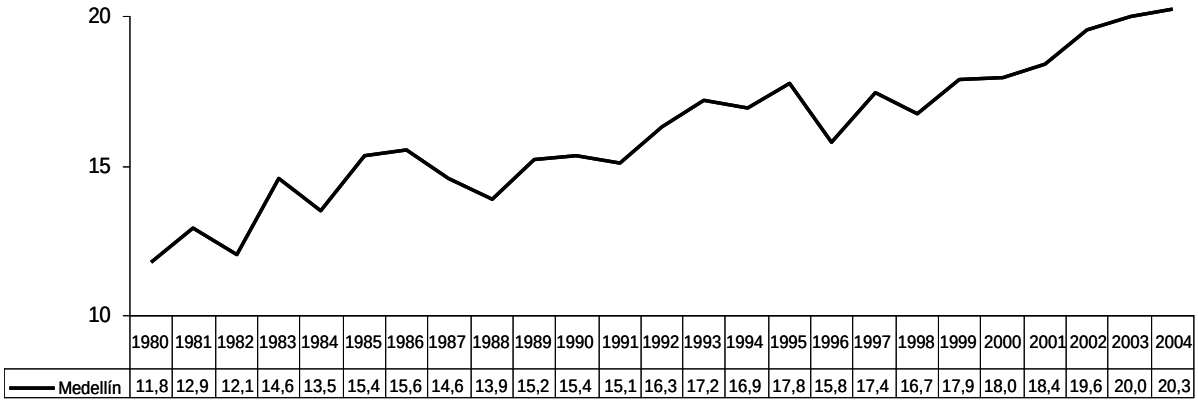


Gráfico 6A. Mortalidad por cáncer de pulmón en Medellín. 1980-2004

El número absoluto de muertes por cáncer de pulmón en Medellín viene aumentando desde hace 25 años. En 1980 se contaban 175 muertes anuales por esta causa, para el 2004 el número de muertes ya supera los 421 casos anuales (gráfico 6A).



	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Medellín	11,8	12,9	12,1	14,6	13,5	15,4	15,6	14,6	13,9	15,2	15,4	15,1	16,3	17,2	16,9	17,8	15,8	17,4	16,7	17,9	18,0	18,4	19,6	20,0	20,3

Gráfico 6B. Tasa de mortalidad por cáncer de pulmón en Medellín. 1980-2004.

Las tasas de mortalidad por cáncer de pulmón en Medellín ascienden desde 11.8 por 100 mil hab en 1980 hasta 20.3 en el año 2004 (aumenta un 90 % en 25 años) (gráfico 6B).

Los 7260 casos de muerte en Medellín por cáncer de pulmón, en un seguimiento de 44’534.450 años - persona, contrastan con los 513 de la región de oriente en un seguimiento de 5’656.717 años - persona. Las tasas de mortalidad global por esta causa representan 16.3 y 9.1 por 100.000 hab respectivamente. El Riesgo Relativo RR alcanzó el valor de 1.80 IC 95 % (1.65, 1.96) (gráfico 6C).

	Medellín			Oriente			
Año	Poblacion	Ca P	Tasa	Poblacion	Ca P	Tasa	RR
1980	1.485.374	175	11,8	169.162	10	5,9	1,99
1981	1.510.041	195	12,9	173.922	11	6,3	2,04
1982	1.534.708	185	12,1	178.686	23	12,9	0,94
1983	1.559.375	227	14,6	183.451	12	6,5	2,23
1984	1.584.042	214	13,5	188.215	11	5,8	2,31
1985	1.608.709	247	15,4	192.980	19	9,8	1,56
1986	1.633.376	254	15,6	197.744	18	9,1	1,71
1987	1.658.043	242	14,6	202.508	23	11,4	1,29
1988	1.682.710	234	13,9	207.273	21	10,1	1,37
1989	1.707.377	260	15,2	212.037	18	8,5	1,79
1990	1.732.044	266	15,4	216.802	10	4,6	3,33
1991	1.756.711	265	15,1	221.566	18	8,1	1,86
1992	1.781.378	290	16,3	226.331	25	11,0	1,47
1993	1.806.045	311	17,2	231.095	22	9,5	1,81
1994	1.830.712	310	16,9	235.859	18	7,6	2,22
1995	1.855.379	330	17,8	240.624	26	10,8	1,65
1996	1.880.046	297	15,8	245.388	21	8,6	1,85
1997	1.904.713	332	17,4	250.153	29	11,6	1,50
1998	1.929.380	323	16,7	254.917	21	8,2	2,03
1999	1.954.047	350	17,9	259.682	25	9,6	1,86
2000	1.978.714	356	18,0	264.446	22	8,3	2,16
2001	2.003.381	369	18,4	269.210	30	11,1	1,65
2002	2.028.048	397	19,6	273.979	18	6,6	2,98
2003	2.052.715	410	20,0	278.221	25	9,0	2,22
2004	2.077.382	421	20,3	282.466	37	13,1	1,55

Mortalidad por Ca P
1980 - 2004

	Casos	Poblacion	Tasa
Medellin	7.260	44.534.450	16,3
Oriente	513	5.656.717	9,1

RR = 1,80
IC = 1,65 - 1,96
X^2= 169,6

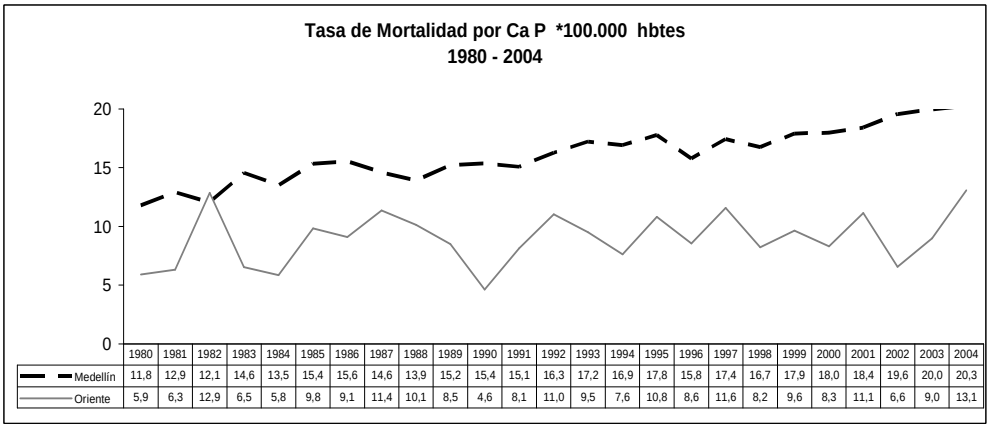


Gráfico 6C. Tasa de mortalidad por cáncer de pulmón en Medellín y Oriente. 1980-2004.

También la mortalidad por cáncer de pulmón en el oriente muestra un leve ascenso durante el mismo período. Las cifras van desde 5.9 hasta 13.1.

	Bogota			Medellín			
Año	Poblacion	Ca P	Tasa	Poblacion	Ca P	Tasa	RR
1980	3.400.542	134	3,9	1.485.374	175	11,8	2,99
1981	3.551.627	163	4,6	1.510.041	195	12,9	2,81
1982	3.702.712	146	3,9	1.534.708	185	12,1	3,06
1983	3.853.797	130	3,4	1.559.375	227	14,6	4,32
1984	4.004.882	166	4,1	1.584.042	214	13,5	3,26
1985	4.155.968	199	4,8	1.608.709	247	15,4	3,21
1986	4.307.053	188	4,4	1.633.376	254	15,6	3,56
1987	4.458.138	233	5,2	1.658.043	242	14,6	2,79
1988	4.609.223	186	4,0	1.682.710	234	13,9	3,45
1989	4.760.309	213	4,5	1.707.377	260	15,2	3,40
1990	4.911.394	231	4,7	1.732.044	266	15,4	3,27
1991	5.062.479	265	5,2	1.756.711	265	15,1	2,88
1992	5.213.564	260	5,0	1.781.378	290	16,3	3,26
1993	5.364.649	267	5,0	1.806.045	311	17,2	3,46
1994	5.515.735	275	5,0	1.830.712	310	16,9	3,40
1995	5.666.820	260	4,6	1.855.379	330	17,8	3,88
1996	5.817.905	281	4,8	1.880.046	297	15,8	3,27
1997	5.968.990	317	5,3	1.904.713	332	17,4	3,28
1998	6.120.076	297	4,9	1.929.380	323	16,7	3,45
1999	6.271.161	289	4,6	1.954.047	350	17,9	3,89
2000	6.422.246	325	5,1	1.978.714	356	18,0	3,56
2001	6.573.331	322	4,9	2.003.381	369	18,4	3,76
2002	6.724.416	357	5,3	2.028.048	397	19,6	3,69
2003	6.875.502	388	5,6	2.052.715	410	20,0	3,54
2004	7.026.587	401	5,7	2.077.382	421	20,3	3,55

Mortalidad por Ca P
1980 - 2004

	Casos	Poblacion	Tasa
Medellin	7.260	44.534.450	16,3
Bogota	6.293	130.339.106	4,8

RR = 3,38
IC = 3,29 - 3,57
X_2 = 5639

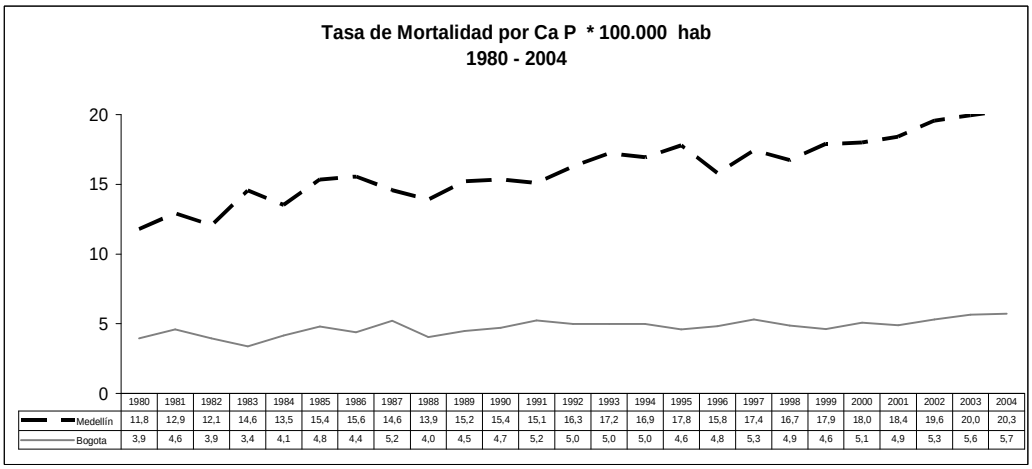


Gráfico 6D Tasa de mortalidad por cáncer de pulmón en Medellín y Bogotá. 1980-2004.

La mortalidad por cáncer de pulmón en Medellín es 3.4 veces la mortalidad por la misma causa en Bogotá RR 3.38 (IC95 3.29 – 3.57) X^2 5639 p .00 (gráfico 6D).

	Colombia			Medellín			
Año	Poblacion	Ca P	Tasa	Poblacion	Ca P	Tasa	RR
1980	28.446.598	872	3,1	1.485.374	175	11,8	3,84
1981	29.150.538	1.251	4,3	1.510.041	195	12,9	3,01
1982	29.854.479	1.308	4,4	1.534.708	185	12,1	2,75
1983	30.558.419	1.456	4,8	1.559.375	227	14,6	3,06
1984	31.262.360	1.479	4,7	1.584.042	214	13,5	2,86
1985	31.966.300	1.665	5,2	1.608.709	247	15,4	2,95
1986	32.670.241	1.714	5,2	1.633.376	254	15,6	2,96
1987	33.374.181	1.891	5,7	1.658.043	242	14,6	2,58
1988	34.078.122	1.838	5,4	1.682.710	234	13,9	2,58
1989	34.782.062	1.974	5,7	1.707.377	260	15,2	2,68
1990	35.486.002	1.959	5,5	1.732.044	266	15,4	2,78
1991	36.189.943	2.179	6,0	1.756.711	265	15,1	2,51
1992	36.893.883	2.245	6,1	1.781.378	290	16,3	2,68
1993	37.597.824	2.297	6,1	1.806.045	311	17,2	2,82
1994	38.301.764	2.329	6,1	1.830.712	310	16,9	2,78
1995	39.005.705	2.488	6,4	1.855.379	330	17,8	2,79
1996	39.709.645	2.578	6,5	1.880.046	297	15,8	2,43
1997	40.413.585	2.669	6,6	1.904.713	332	17,4	2,64
1998	41.117.526	2.599	6,3	1.929.380	323	16,7	2,65
1999	41.821.466	2.870	6,9	1.954.047	350	17,9	2,61
2000	42.525.407	2.833	6,7	1.978.714	356	18,0	2,70
2001	43.229.347	2.962	6,9	2.003.381	369	18,4	2,69
2002	43.933.288	3.157	7,2	2.028.048	397	19,6	2,72
2003	44.637.228	3.318	7,4	2.052.715	410	20,0	2,69
2004	45.341.169	3.589	7,9	2.077.382	421	20,3	2,56

Mortalidad por Ca P
1980 - 2004

	Casos	Poblacion	Tasa
Medellin	7.260	44.534.450	16,3
Colombia	55.520	922.347.082	6,0

RR = 2,71
IC = 2,64 - 2,78
X^2= 6918

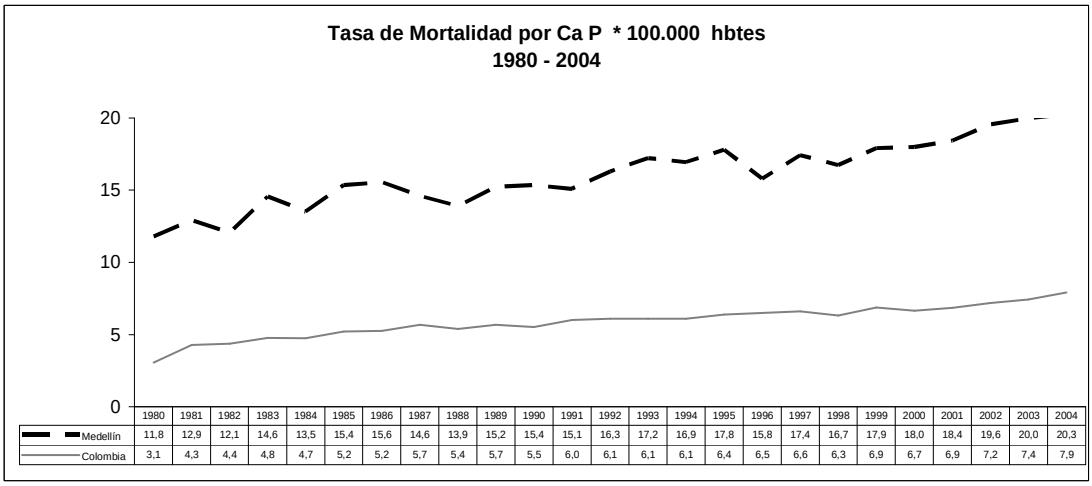


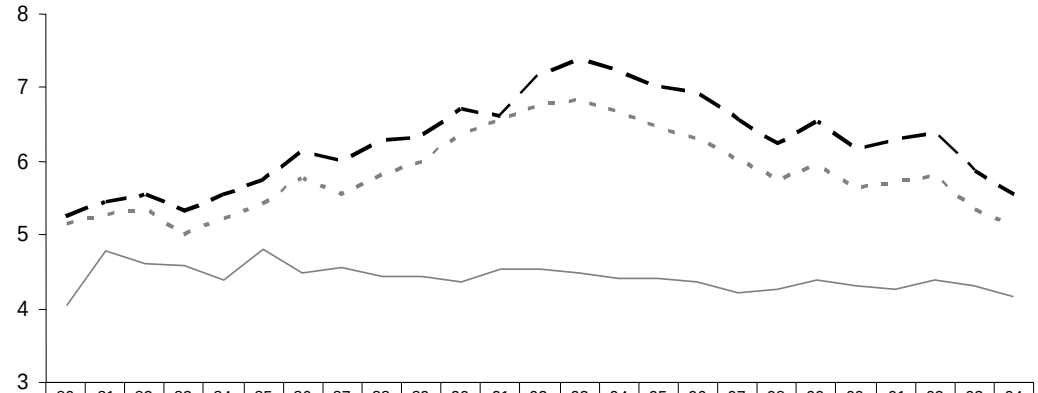
Gráfico 6E. Tasa de mortalidad por cáncer de pulmón en Medellín y Colombia. 1980-2004.

La mortalidad por cáncer de pulmón en Medellín es 2.7 veces la mortalidad de Colombia por la misma causa RR 2.7 (IC95 2.64 - 2.78) X^2 6918 p .00 (gráfico 6E).

Mortalidad en Medellín, Valle de Aburrá y Colombia

La mortalidad en Medellín es muy cercana a la mortalidad de toda el área metropolitana considerada íntegramente y a su vez muy distinta de la mortalidad registrada para toda Colombia.

Para la mortalidad general los valores se sitúan en promedios cercanos a 6.0 fallecimientos por cada mil habitantes. Las curvas de tendencia en los últimos 25 años describen un aumento para los años 90's en los cuales se registró una onda epidémica de muertes por homicidios que comenzó a desvanecerse para los primeros años del nuevo milenio.

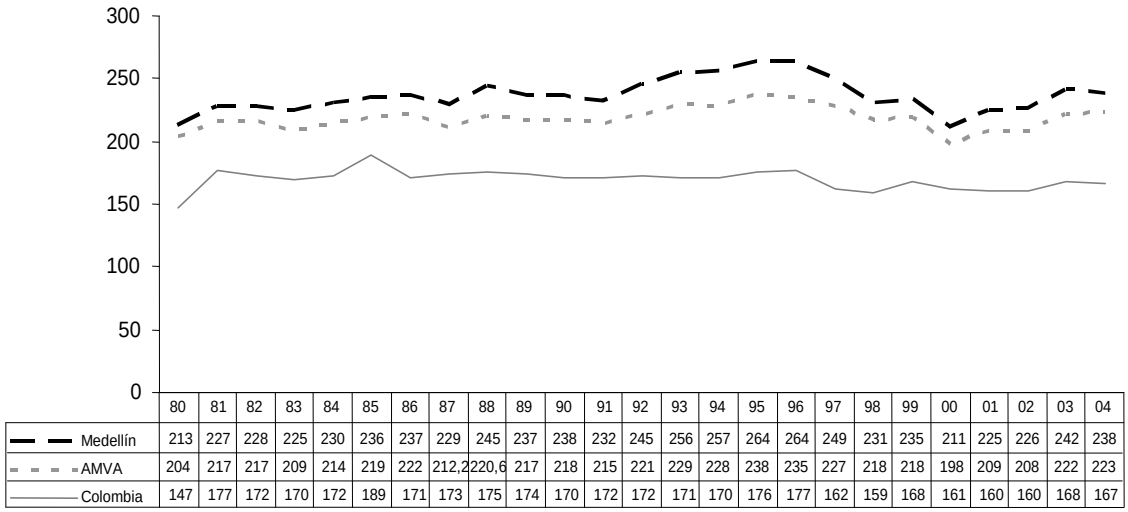


	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04
Medellín	5,3	5,4	5,5	5,3	5,6	5,8	6,1	6,0	6,3	6,3	6,7	6,6	7,2	7,4	7,2	7,0	6,9	6,6	6,2	6,6	6,2	6,3	6,4	5,9	5,5
AMVA	5,1	5,3	5,3	5,0	5,2	5,4	5,8	5,5	5,8	6,0	6,4	6,6	6,8	6,8	6,7	6,5	6,3	6,0	5,8	5,9	5,7	5,7	5,8	5,3	5,1
Colombia	4,0	4,8	4,6	4,6	4,4	4,8	4,5	4,6	4,4	4,4	4,4	4,5	4,5	4,5	4,4	4,4	4,4	4,2	4,3	4,4	4,3	4,3	4,4	4,3	4,2

Gráfico 7A. Tasa de mortalidad general en Medellín, área metropolitana y Colombia. 1980 - 2004.

La mortalidad en Medellín y en los municipios vecinos que conforman el área metropolitana es similar y se registra por encima de la mortalidad general en el país, dado que en otras regiones la epidemia de violencia no tuvo la crudeza de acontecimientos que se vivieron en la capital antioqueña. (gráfico 7A)

La mortalidad por enfermedades cardiorrespiratorias también es similar para Medellín y los municipios que integran el área metropolitana. Los valores excursionan por la franja de tasas de mortalidad entre 200 – 250 muertes por 100 mil habitantes, lo cual contrasta con la línea más plana de la mortalidad en Colombia que transcurre ligeramente por encima de las 150 muertes por 100 mil habitantes. (gráfico 7B)



	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04
Medellín	213	227	228	225	230	236	237	229	245	237	238	232	245	256	257	264	264	249	231	235	211	225	226	242	238
AMVA	204	217	217	209	214	219	222	212,2	220,6	217	218	215	221	229	228	238	235	227	218	218	198	209	208	222	223
Colombia	147	177	172	170	172	189	171	173	175	174	170	172	172	171	170	176	177	162	159	168	161	160	160	168	167

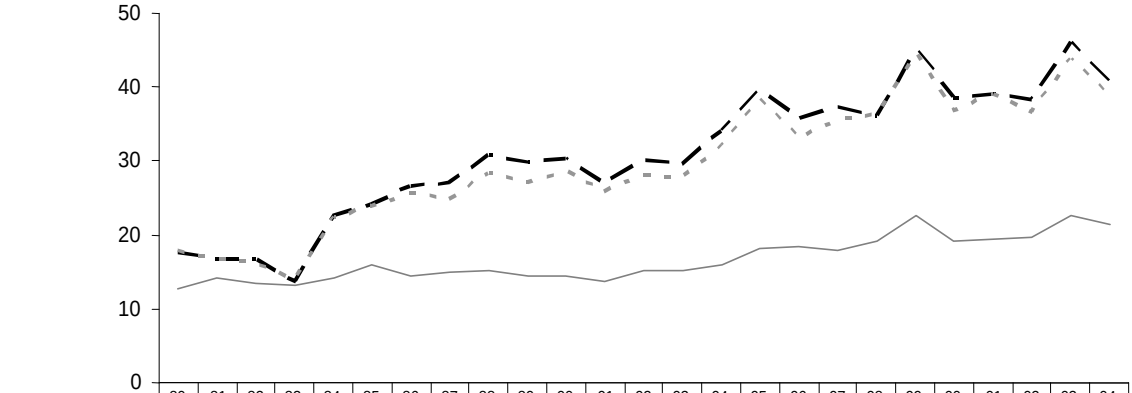
Gráfico 7B. Tasa de mortalidad por cardiorespiratorias en Medellín, área metropolitana y Colombia. 1980-2004.

Para el conjunto de enfermedades cardiorrespiratorias integradas, es decir, las enfermedades cardiovasculares, las enfermedades respiratorias, tanto agudas como crónicas y el cancer de pulmón, ocurre un exceso de mortalidad en la ciudad de Medellín y su área metropolitana que alcanza el orden del 40%.

Este grupo de enfermedaedes se vincula en una relación causal con la contaminación atmosférica, si bien existe una gama diversa de otros factores determinantes tanto para las enfermedades vasculares como para las respiratorias

Las enfermedades respiratoria crónicas permiten evidenciar un contraste todavía más marcado. La mortalidad por estas enfermedades en Medellín y los municipios del área metropolitana muestra una tendencia acentuada hacia el aumento en los últimos 25 años.

Las tasas, que para 1980 se situaban en valores cercanos a 15 muertes por cada 100 mil habitantes, crecen hasta valores de 45, es decir, se triplican durante el período de observación. Los valores para el municipio de Medellín varían armónicamente y en cifras muy cercanas para los municipios de Valle de Aburrá.



	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04
Medellín	17,8	16,7	16,6	13,7	22,7	24,2	26,6	27,2	30,7	29,9	30,3	27,0	30,1	29,6	34,0	39,5	35,8	37,4	36,0	45,1	38,6	39,0	38,2	46,0	40,4
AMVA	18,0	16,6	16,3	14,0	22,4	24,0	25,6	24,9	28,3	27,1	28,5	25,8	28,1	27,8	32,1	38,4	33,2	35,7	36,3	44,6	36,7	39,1	36,6	43,7	38,9
Colombia	12,6	14,2	13,5	13,1	14,2	16,0	14,3	14,8	15,1	14,5	14,4	13,7	15,3	15,1	15,8	18,2	18,5	18,0	19,2	22,6	19,1	19,4	19,6	22,6	21,4

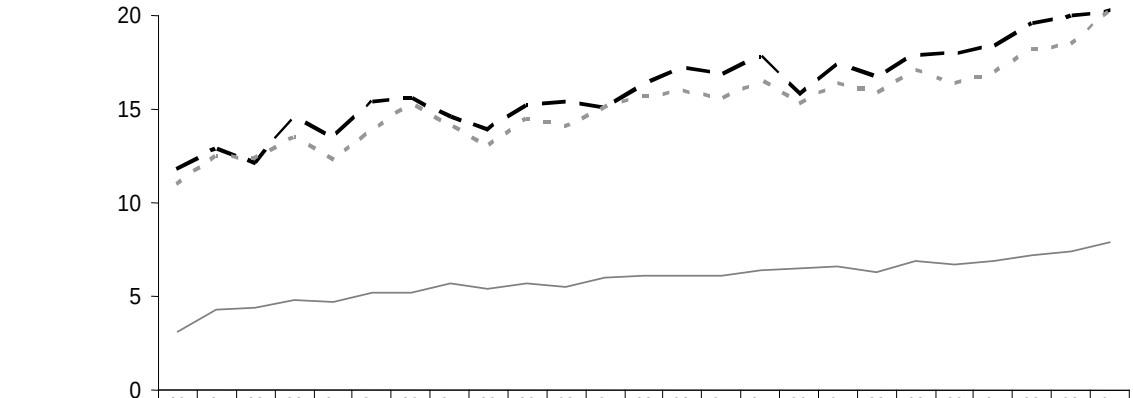
Gráfico 7C. Tasa de mortalidad por respiratorias crónicas en Medellín, Área Metropolitana y Colombia. 1980-2004.

La curva correspondiente a la mortalidad nacional se sitúa a un nivel más bajo, con valores que varían alrededor de 20 muertes por 100 mil habitantes. La mortalidad en Medellín por enfermedades respiratorias crónicas es el doble comparada con la del país. (gráfico 7C)

El incremento tan acentuado en la mortalidad por estas causas en Medellín y su área metropolitana en comparación con Colombia, evidencia una tendencia divergente que aumenta la brecha de mortalidad a través del tiempo y que sugiere de alguna forma la presencia de factores agravantes que se localizan en el valle de la capital antioqueña

Las tasas de mortalidad por cáncer de pulmón en Medellín y en los municipios del área metropolitana han aumentado sistemáticamente a lo largo de los últimos 25 años. Los valores evolucionan desde 12 muertes por cada 100 mil habitantes en 1980 hasta valores superiores a los 20 para el año 2005. Las curvas de oscilación y crecimiento de la mortalidad por esta causa son notablemente cercanas para los municipios del Valle de Aburrá analizados conjuntamente pero se ubican distantes de las tasas que se registran para toda Colombia.

El nivel nacional transcurre por niveles por encima de 5 muertes por 100 mil habitantes en una tendencia más plana, aunque con un ligero ascenso para el período de observación. (gráfico 7D)



	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04
Medellín	11,8	12,9	12,1	14,6	13,5	15,4	15,6	14,6	13,9	15,2	15,4	15,1	16,3	17,2	16,9	17,8	15,8	17,4	16,7	17,9	18,0	18,4	19,6	20,0	20,3
AMVA	11,0	12,5	12,4	13,5	12,3	13,9	15,3	14,1	13,0	14,5	14,1	15,1	15,7	16,0	15,6	16,5	15,3	16,4	15,9	17,1	16,4	16,9	18,2	18,5	20,3
Colombia	3,1	4,3	4,4	4,8	4,7	5,2	5,2	5,7	5,4	5,7	5,5	6,0	6,1	6,1	6,1	6,4	6,5	6,6	6,3	6,9	6,7	6,9	7,2	7,4	7,9

Gráfico 7D. Tasa de mortalidad por cáncer de pulmón en Medellín, Área Metropolitana y Colombia. 1980-2004.

Los valores que se registran en Medellín son ligeramente más altos que los valores para los municipios del área metropolitana con relación la mortalidad por las diferentes causas y especialmente por las enfermedades más relacionadas con la contaminación del aire. Sin embargo su cercanía es notable cuando se compara con los niveles del país, los cuales aparecen sistemáticamente con valores de mortalidad más bajos y tendencias más estables o con pendientes más suaves a lo largo del último cuarto de siglo.

Correlación material particulado - cáncer de pulmón

Se han registrado sistemáticamente partículas en suspensión total (PST) en varios lugares de Medellín y en un solo sitio para cada uno de los municipios que conforman el área metropolitana, pero hasta el momento no se dispone de información completa para partículas respirables (PM_{10}) con el mismo nivel de discriminación y cobertura.

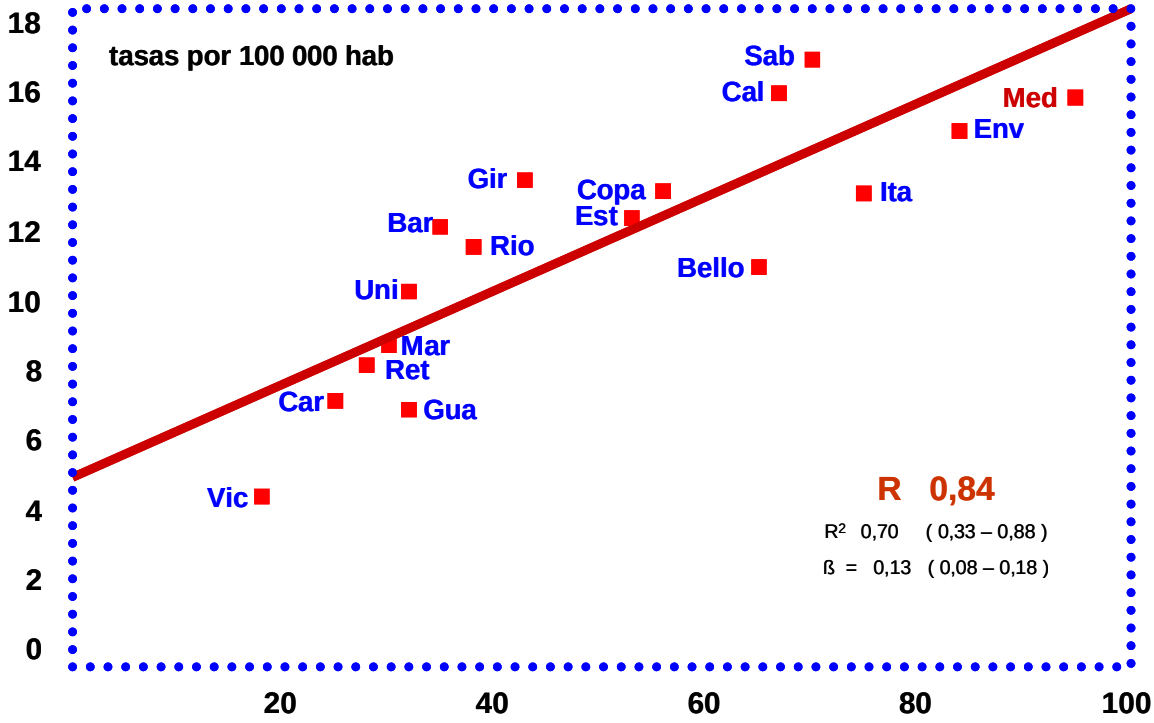
Para explorar, por medio de correlación y regresión lineal, los datos de material particulado respirable con los efectos sobre la mortalidad se hace necesario disponer de datos con el rigor del muestreo regular y con la certeza de tener un valor verdaderamente representativo de la exposición a la cual se somete a la comunidad.

Los datos de contaminación por material particulado reportados por Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá, los obtenidos en nuestros muestreos, los datos estimados para algunas localidades del oriente antioqueño y los reportados en otros estudios locales realizados esporádicamente se utilizan para explorar una posible correlación con las tasas de mortalidad por cáncer de pulmón calculadas a partir del consolidado de los últimos veinticinco años de seguimiento.

Los resultados del gráfico de dispersión permiten observar una tendencia de los valores a ubicarse cercanos a la línea de regresión lineal con valores muy bajos en PM_{10} y en tasas de mortalidad por cáncer de pulmón para los municipios de oriente antioqueño. Con valores intermedios aparecen los municipios periféricos del Valle de Aburrá y con valores altos los municipios más populosos del centro y del sur del valle.

El coeficiente de regresión es de .84 con coeficiente de determinación de .70 y un intervalo de confianza significativo al nivel de 95% de .33 - .88. La pendiente también significativa es de .126 IC 95% (.08 - .18). Para la aceptación del modelo de regresión se obtiene una razón de varianza F 32.4 p.00 (gráfico 8).

La pendiente nos sugiere que por cada incremento de $10\mu g/m^3$ se aumenta la tasa de mortalidad por cáncer de pulmón en 1.26 muertes por cada 100 mil habitantes.



Med	Medellín	**Uni**	La Unión
Env	Envigado	**Bar**	Barbosa
Ita	Itagüí	**Rio**	Rionegro
Mar	Marinilla	**Gir**	Girardota
Ret	El Retiro	**Est**	La Estrella
Gua	Guarne	**Copa**	Copacabana
Car	Carmen de Viboral	**Cal**	Caldas
Vic	San Vicente	**Sab**	Sabaneta

Gráfico 8. Correlación entre material particulado respirable (PM_{10}) y tasas de mortalidad por cáncer de pulmón en diversos municipios de Antioquia.

discusión

DISCUSIÓN

La ***función pulmonar*** se afecta desfavorablemente con la contaminación atmosférica. La diferencia de los valores espirométricos en perjuicio de las personas que viven y trabajan en ambientes atmosféricos más contaminados es realmente sistemática, se presenta para todas las variables espirométricas estudiadas en magnitudes que alcanzan significación clínica, estadística y epidemiológica.

La eventual disminución de las capacidades ventilatorias en el grupo más expuesto nos resulta razonablemente justificada por la mayor exposición crónica al material particulado respirable, dado que un buen número de variables de potencial confusión han sido controladas en el diseño del estudio y en el análisis estratificado.

Los resultados son notablemente coincidentes con los reportados por la literatura internacional. Una serie de estudios epidemiológicos descritos por C Pope y W Dockery [14] describen reducciones de la CV, el VEF y el %VEF en proporciones que varían entre 2 - 4%. La diferencia que reportamos en nuestro estudio es de 3%.

Las reducciones en otras variables espirométricas alcanzan valores que ascienden hasta 10 - 12%. Los resultados muestran que hay indicadores de flujo aéreo respiratorio más sensible que la clásica prueba de Tiffeneau o volumen espiratorio forzado de un segundo (VEF1). De hecho, las diferencias entre los grupos comparados son menores para el VEF1 que para otros indicadores.

El flujo espiratorio medio (MMEF) y el flujo espiratorio al 50% de la capacidad vital (FEV50) son indicadores espirométricos más sensibles y discriminantes y, eventualmente, podrían considerarse como detectores más precoces de la disfunción pulmonar que sería parte del proceso degenerativo gradual que conduce a la enfermedad pulmonar obstructiva crónica.

Los datos revelan afectación un poco mayor en los hombres en comparación con las mujeres. Este hecho parece tener lógica explicación en la mayor exposición que tienen los hombres durante las actividades laborales. Es común que las mujeres permanezcan más en el interior de las casas y los edificios, en tanto que los hombres pasan más tiempo en los exteriores en contacto más cercano con los contaminantes del aire.

De hecho, la asociación que se da entre una mayor exposición a la contaminación del aire y un mayor efecto en términos de reducción de las capacidades pulmonares, habla en favor de que efectivamente los contaminantes particulados inhalables afectan la función respiratoria cuando la exposición se prolonga por los tiempos que las personas permanecen en los sitios donde viven y trabajan.

Las ***afectaciones respiratorias*** e irritativas de mucosas oculares y nasales son la consecuencia lógica de la exposición al contaminante en el aire que respiran los seres humanos. El registro de un exceso de síntomas sistemáticamente en desfavor de las personas expuestas al aire más contaminado de Medellín y el área metropolitana habla a favor de la consistencia y la credibilidad de los datos.

La irritación de las vías respiratorias superiores se evidencia claramente en la presencia de riesgos relativos altos y significativos para la congestión nasal, la dificultad respiratoria, la tos, los estornudos y el ardor en la garganta. La utilización de escalas de valoración de la frecuencia sintomática para cada una de las variables, permite una discriminación mejor y amplía el poder estadístico para captar diferencias verdaderas y con importancia clínica.

Los episodios de asma y de resfriado también registran un exceso para la población expuesta, no obstante la magnitud con respecto a otros síntomas respiratorios es menor, al menos en relación con la exposición crónica. Es posible que el factor de la temperatura más baja en los municipios del oriente antioqueño y la presencia de algunos alergenos naturales como el polen de las flores y el pelo de animales puedan atenuar la diferencia por estas afecciones respiratorias.

Muy poco se ha reportado en relación con los efectos de la contaminación atmosférica en el dominio de las ***funciones neurosicológicas***. Nuestra presunción es que las personas perciben la contaminación en el aire que respiran y en los objetos y elementos del entorno circundante, lo cual generaría en ellos afectaciones emocionales susceptibles de detectarse.

Los datos muestran en forma consistente una diferencia sistemática de síntomas neurosicológicos y otra vez en perjuicio de quienes respiran el aire más contaminado de Medellín y su área metropolitana.

La angustia, el agotamiento y la depresión aparecen como los hallazgos clínicos más sensibles del gradiente de contaminación atmosférica en estudio. Los síntomas de desespero, rabia, irritabilidad, tristeza, pesimismo, aburrimiento y nerviosismo también aparecen en diferencias que son compatibles con los efectos clínicos esperados.

Pueden estos hallazgos ser atribuidos en su totalidad al fenómeno de la contaminación atmosférica?, tal vez no. Sabemos bien que en las ciudades más

pobladas la vida tiene más facilidades y oportunidades, pero eventualmente más complicaciones y exigencias, lo cual podría ser por sí mismo otro factor estresante de los entornos urbanos más densamente poblados.

De todas maneras el aspecto sucio y contaminado del aire visible en las calles de la ciudad y su efecto inmediato en la suciedad que se deposita sobre paredes, vidrios, aceras e incluso sobre las personas, transmite una sensación de incomodidad para el trabajo y para la vida, que conduce al descontento de la comunidad, especialmente cuando su ocurrencia se repite día a día y su tendencia se vislumbra hacia el empeoramiento, sin que nadie haga algo por remediarlo.

En relación con la ***mortalidad*** es evidente que en Medellín y su área metropolitana algo serio está ocurriendo por enfermedades relacionadas con la contaminación del aire. Los datos de los últimos 25 años revelan un aumento del número de muertes por enfermedades respiratorias crónicas y por cáncer de pulmón, tanto en términos absolutos como en términos de tasas ajustadas por el número de habitantes.

Dado que la causalidad del cáncer de pulmón se ha atribuido en su gran mayoría a la exposición a humo de tabaco, podría presumirse que también aquí el tabaquismo en la población pudiera ser el responsable de esta situación. Sin embargo, el consumo de cigarrillos viene descendiendo en Colombia y en las distintas localidades del país. Hace 40 años la proporción de fumadores ascendía a 42 %, los estudios a través de los años han documentado el descenso hasta los valores más recientes de 18 y 20 % [31]. Ahora bien, si no es el tabaquismo el responsable de esta escalada de mortalidad por enfermedades respiratorias crónicas y cáncer de pulmón, entonces ¿cuál es la causa?.

Los contaminantes presentes en la atmósfera de alguna forma tendrán su efecto en la irritación aguda o crónica de las estructuras orgánicas que entran en contacto con ellos. La especificidad de las muertes por enfermedades pulmonares crónicas y por cáncer de pulmón expresan fielmente las características malsanas del aire que se respira en el densamente poblado Valle de Aburrá.

El pulmón es el órgano sensor de la calidad del aire, y si bien el humo de la combustión del tabaco es capaz dentro de las vías respiratorias de producir la irritación crónica del epitelio bronco-alveolar hasta derivar en lesiones metaplásicas y neoplásicas, también el humo de la combustión del carbón o de otros combustibles fósiles tiene la misma capacidad patogénica [32,33].

El humo de las cocinas a carbón de otras épocas ha desaparecido de los ambientes domiciliarios en una ciudad donde los servicios públicos de electricidad, gas y acueducto logran altas coberturas.[34] Pero en cambio, el humo negro procedente de los vehículos automotores, especialmente de los que consumen diesel, ha venido aumentando en forma consistente a medida que crece la

circulación y densidad de vehículos automotores en la limitada y congestionada red vial de las ciudades [35].

Los niveles de contaminación por material particulado respirable PM_{10} en Medellín alcanzan dimensiones altas capaces de producir los efectos que registran en relación con el ***cáncer de pulmón***. Los estudios epidemiológicos más rigurosos reportados en la literatura mundial confirman que aumentos de 10 $\mu g/m^3$ de PM_{10} se asocian con incrementos del 14-25 % en la mortalidad por cáncer de pulmón [1].

Nuestros datos revelan un aumento de la mortalidad del 80 % asociado a un gradiente de 30 $\mu g/m^3$ de PM_{10}, así que para Medellín también se cumple la relación causa - efecto reportada en la literatura científica mundial, es decir, que por cada 10 $\mu g/m^3$ de PM_{10} que vertimos a nuestra atmósfera pagamos el precio de aumentar en más del 25 % la mortalidad por cáncer de pulmón y seguramente otras tantas muertes cardiorrespiratorias.

Los estudios epidemiológicos atribuyen efectos a la contaminación atmosférica, no solo sobre las enfermedades respiratorias sino también sobre las enfermedades ***cardiovasculares***. De hecho, no podemos decir que sea la contaminación del aire la que causa la enfermedad arterial esclerótica que es la base para las afecciones del aparato circulatorio, pero sabemos que al igual que en el tabaquismo, las partículas muy finas de hollín, producto de la combustión, alcanzan a penetrar incluso la barrera alveolo-capilar para desencadenar eventos de coagulación y trombosis, que son en última instancia los hechos fisiopatológicos que producen la muerte en personas susceptibles o previamente debilitadas.

Sorprende constatar que la contaminación atmosférica se asocia no solo con enfermedad sino que está claramente vinculada a través de diversos tipos de estudios a la ocurrencia de muertes por exposición crónica y también a muertes por exposición aguda. La exposición de larga duración explica un lento pero indefectible deterioro de la función pulmonar y la aparición de lesiones neoplásicas en el pulmón tras muchos años de irritación reiterada. La exposición a dosis muy altas de contaminantes aéreos, aunque de corta duración, suele asociarse con crisis respiratorias alérgicas o infecciosas y con desenlaces fatales en personas con afecciones cardiovasculares de base.

Un hecho en favor de la relación que existe entre la contaminación atmosférica y la mortalidad por enfermedades crónicas respiratorias y por cáncer de pulmón, es que los incrementos de los casos y las tasas específicas de estas enfermedades varían en un ascenso armónico con el aumento de la densidad poblacional, con la concentración de edificaciones, con el aumento del parque automotor y con el aumento del material particulado respirable producto de la combustión de hidrocarburos que se ha venido registrando en el área metropolitana de Medellín.

Cuando se analiza la mortalidad por otras causas en los últimos 25 años, puede observarse que la tendencia no es igual para otras enfermedades que no tienen relación con la calidad del aire, tales como los homicidios, los cánceres de origen digestivo, genitourinario y demás causas.

Los datos procedentes de este ***estudio ecológico*** tienen las limitaciones propias de un diseño que no puede controlar todas las variables potencialmente confusoras.

En relación con las pruebas funcionales y con el exceso de síntomas respiratorios y neurosicológicos, las muestras poblacionales estudiadas pudieron lograr una razonable similitud en variables como sexo, edad, peso, estatura, estado nutricional, estrato socio-económico, nivel educativo y especialmente semejante en cuanto al hábito de fumar y diversos aspectos culturales y de raza. Las diferencias, por lo tanto, en morbilidad y afectación funcional creemos que son atribuibles al factor de exposición en estudio, es decir, resulta razonable aceptar que tales diferencias serían el efecto de respirar por largo tiempo niveles altos de contaminación como los que han sido reportados para Medellín y su área metropolitana, especialmente en los sectores comerciales de alto tránsito vehicular.

Las diferencias en mortalidad entre la población de estudio y la población de control, creemos que también pueden razonablemente atribuirse a la contaminación atmosférica. La asociación epidemiológica y estadística es alta, los hallazgos son consistentes, hay total concordancia con los estudios realizados en diversas regiones del mundo, la exposición diferencial está bien documentada, la asociación se confirma en un análisis de la mortalidad para cada año y persiste así a lo largo de 25 años, la asociación es altamente específica y concuerda bien con los soportes fisiopatológicos del conocimiento científico actual.

En suma, se podría aducir que la relación causal que existe entre contaminación ambiental y efectos nocivos para la salud solo podría inferirse a partir de estudios experimentales o de seguimiento muy rigurosos, pero dada la poca factibilidad de tales estudios en nuestro medio y ante el acumulo de tanta evidencia circunstancial, ecológica y de estudios analíticos de observación, resultaría insensato negar la presencia de tal relación y más insensato aún sería el mantenerse impasibles o inertes frente a una amenaza tan obvia y perjudicial para la salud y el bienestar de la comunidad.

conclusiones

CONCLUSIONES

La evidencia recogida a partir de estudios longitudinales ecológicos, transversales y de pruebas funcionales permite concluir con un razonable sentido de certeza que la contaminación atmosférica en Medellín y el área metropolitana genera efectos nocivos en la función respiratoria de sus habitantes, genera signos clínicos y síntomas irritativos del árbol respiratorio, genera aumento de signos y síntomas neurosicológicos y genera una importante proporción de mortalidad por enfermedades cardiorrespiratorias y cáncer de pulmón.

Los más expuestos presentan resultados que evidencian menor capacidad en la función pulmonar frente a los menos expuestos, alteraciones que permitirían identificar precozmente el riesgo de sufrir enfermedad pulmonar obstructiva crónica

Los más expuestos a contaminantes ambientales sufren con más frecuencia congestión nasal, dificultad respiratoria, garganta irritada, tos, estornudos, dolor de cabeza, ardor en los ojos, laringitis, resfriados y crisis asmáticas, en comparación con los menos expuestos.

Las expresiones de agotamiento, depresión, desespero, aburrimiento, irritación, angustia, nerviosismo, tristeza, rabia y pesimismo fueron más frecuentes y de mayor intensidad en el grupo de los más expuestos a contaminación atmosférica.

La mortalidad general, por enfermedades cardiorrespiratorias, por enfermedades respiratorias crónicas y por cáncer de pulmón es mayor en Medellín y los municipios del área metropolitana en comparación con los municipios del oriente antioqueño, y mucho mayor en comparación con Bogotá y con la mortalidad consolidada de todo el país.

Es necesario realizar estudios epidemiológicos analíticos y de intervención que realicen el control de las variables potenciales de confusión, tanto en el diseño como en el análisis, con el fin de proveer más evidencia científica en relación con la asociación causal que existe entre la contaminación atmosférica y los efectos sobre la salud de la comunidad.

Los efectos que la contaminación atmosférica genera sobre la población no son solamente asunto de pequeñas molestias respiratorias, son también asunto de enfermedad y de muerte. Por lo tanto la implementación de medidas de prevención y control se constituye en un imperativo social que debe abordarse con decisión y compromiso, pues se trata de preservar la salud y la vida de una comunidad involuntariamente expuesta a respirar aire contaminado.

bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

1. Pope C. Health Effects of Particulate Air Pollution: Time for Reassessment? Environmental Health Perspectives. 1995; 103:472-480.
2. 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
3. Kim J. Ambient air pollution: Health hazards to children. Pediatrics .2004; 114(6):1699-1707.
4. Bateson T, Schwartz J. Who is Sensitive to the Effects of Particulate Pollution on Mortality? Epidemilogy 2004; 15(2):143-149.
5. 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.
6. Tertre A, Medina S, Samoli E, *et al*. Short-term Effects of Particulate Air Pollution on Cardiovascular Diseases in Eight European Cities. J Epidemiol Community Health. 2002; 56:773-779.
7. Metzger K, Tolbert P, Klein M, *et al*. Ambient air Pollution and Cardiovascular Emergency Department Visits. Epidemiology. 2004; 15(1):46-56.
8. Grazuleviviene R, Maroziene L, Dulskiene V, *et al*. Exposure to Urban Nitrogen Dioxide Pollution and Risk of Miocardial Infarction. Scand J. Work Environ Health. 2004; 30(4):293-298.
9. Gaines J, et al. A review of intraurban variations in particulate air pollution: Implications for epidemiological research. Atmospheric Environment. 2005; (39):6444–6462.
10. Arribas F, Rabanaque M, Martos C, *et al*. Efectos de la contaminación del aire en la mortalidad diaria en Zaragoza, España. 1991 -1995. Salud Pública de México. 2001; 43:289-297.
11. Cohen A, Pope lll C. Lung cancer and air pollution. Environmental health perspectives 1995; 103 (8):219-224.
12. Ostro B. Estimating the Health Effects of Air Pollution: A Method with an Application to Jakarta. Policy Research Working Paper, World Bank. 1994.
13. Pope III C, Burnett R, Thun M, *et al*. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and Long-term exposure to fine particulate air pollution. JAMA. 2002; 287:1132-1141.
14. Pope III C, Dockery D. Epidemiology of Particle Effects. En: Air Pollution and Health. Holgate, Sthephen et al. Eds. Academic Press, London. 1999.
15. Samet J, Jaakkola J. The Epidemiologic Approach to Investigating Outdoor Air Pollution. En: Air Pollution and Health. Holgate, Sthephen, *et al*. Eds. Academic Press. London, 1999.
16. OMS. Informe sobre la salud en el mundo en el año 2002. Organización Mundial de la Salud. Ginebra, 2002.
17. World Health Organization. WHO Air Quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005. Summary of risk assessment. Geneva 2006 WHO/SDE/PHE/OEH/06.02

18. Pope III C, Dockery D. Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Line that Connect. Journal of the Air & Waste Management Association. 2006; (56):709-742.

19. Organización Mundial de la Salud – OMS. Directrices sobre la calidad del aire en la protección de la salud pública. ND 103. Ginebra, oct 2006. http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/print.html.

20. Agence française de sécurité sanitaire environnementale. Impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine: Estimation de l'impact lié à l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité par cancer du poumon et par maladies cardio-respiratoires, 2004.

21. Dockery D, *et al*. An association between air pollution and mortality in six US cities. New England Journal of Medicine. 1993; 329:1753-1759.

22. Fusco D, *et al*. Air pollution and hospital admissions for respiratory conditions in Rome, Italy. European Respiratory Journal. 2005; 17:1143-1150.

23. Pereira L, *et al*. Association between air pollution and intrauterine mortality in Sao Paulo, Brazil. Environmental Health Perspectives. 1998; 106(6):325-329.

24. Filleul L, Rondeau V, Vandentorren S, *et al*. Twenty five year mortality and air pollution: results from the french PAARC survey. Occup Environ Med. 2005; 62:453-460.

25. Larsen B. Cost of Environmental Damage: A Socio-Economic and Environmental Health Risk Assessment. Consulting Report Prepared for the Ministry of Environment, Housing and Land Development, Republic of Colombia, 2004.

26. Ibanez A. Benefits and Costs of Environmental Policy in Colombia, 2003.

27. Lozano N. Air Pollution in Bogotá, Colombia: A Concentration-Response Approach. Desarrollo y Sociedad. Bogotá. 2004; (54):133-177.

28. Consejo Nacional de Política Económica y Social. Formulación de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire N°3344, Versi ón aprobada. Bogotá, 2005.

29. Pope III C, *et al*. Respiratory health and PM_{1O} Pollution: A daily time-series analysis. American Review of Respiratory Disease. 1991; (144):688-74.

30. Chow J, *et al*. Critical review discussion: Health effects of fine particulate air pollution. Journal of the air & waste management association. 2006; (56):1368-1380.

31. Ministerio de Salud, Colombia. II Estudio nacional de factores de riesgo de enfermedades crónicas – ENFREC II. Tomo III. Documentos técnicos 007. Colombia, 2000.

32. Cohen A. Air pollution and lung cancer: what more do we need to know? Thorax 2003; 58:1010-1012.

33. Samet J. Environmental causes of lung cancer: what do we know Chest. 2004; 125:80-83 supplement.

34. Alcaldía de Medellín - Secretaría de Salud. Situación de Salud de Medellín, Indicadores Básicos 2005. 2006.

35. Behrentz E. Contaminación atmosférica en Bogotá: relación entre salud pública y calidad del combustible vehicular y propuesta de acciones pertinentes. Andesco. 2006; 12:12-17.

Este documento hace parte del informe final del proyecto de investigación
Contaminación Atmosférica y Efectos en la Salud, realizado por el grupo de Epidemiología, línea de Prevención y Promoción de la Salud, y financiado por Municipio de Medellín, Municipio de Itagüí, Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Universidad de Antioquia.
Convenio interadministrativo 477/05.

El contenido académico es responsabilidad de los autores que lo suscriben y no compromete a las entidades participante

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Y EFECTOS SOBRE LA SALUD DE LA POBLACIÓN

Medellín y su área metropolitana

Vigilancia Epidemiológica

documento 4 de 4

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
1803

Alcaldía de Medellín

Alcaldía de Itagüí

Área METROPOLITANA del Valle de Aburrá

Sistema de Vigilancia Epidemiológica sobre la Calidad del Aire en el Valle del Aburrá

Fernando Daniels Cardozo
Elkin Martínez López
Maria Patricia Arbeláez Montoya
Juan Fernando Saldarriaga

Centro de Investigaciones
Facultad Nacional de Salud Pública
Universidad de Antioquia
Medellín. Colombia
2007

CONTENIDO

2. 1.Introducción…….. 5

1.1 Fundamentos y criterios orientadores

3. 2.Antecedentes para la puesta en marcha de un sistema de vigilancia epidemiológica

4. 3.Estructura y funciones del sistema de vigilancia……..... 13

3.1 Objetivos del sistema
3.2 Eventos bajo vigilancia
3.2.1 Eventos ambientales
3.2.2 Eventos de salud
3.2.3 Estrategias de vigilancia
3.3 Indicadores

5. 4.Tratamiento de la información…….. 25

4.1 Recolección de información
4.1.1 Fuentes de datos
4.1.2 Datos mínimos recomendados
4.1.3 Consolidado periódico de datos
4.2 Análisis de información
4.2.1 Indicadores ambientales
4.2.2 Indicadores epidemiológicos
4.2.3 Indicadores de intervención
4.3 Alertas
4.4 Divulgación y retroalimentación de resultados
4.5 Estrategia de participación ciudadana
4.6 Estructura operativa del sistema de vigilancia epidemiológica

6. 5.Responsabilidades del sistema de vigilancia……..... 41

7. 6.Evaluación del Sistema…… 45

8. Bibliografía…… …….. 49

9. Anexo …… 53

PROPUESTA PARA LA PUESTA EN MARCHA DE UN SISTEMA DE VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL AMVA

2 Introducción

La contaminación del aire se ha convertido en una de las grandes preocupaciones de la salud pública en los conglomerados urbanos, particularmente en los países en desarrollo donde las concentraciones de contaminantes alcanzan niveles críticos. La exposición repetida a los contaminantes antropogénicos comúnmente encontrados en la atmósfera se ha relacionado con un aumento de riesgo de mortalidad y morbilidad debido a una variedad de condiciones, principalmente las enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Este riesgo es particularmente importante en ciertos grupos poblacionales vulnerables como niños, ancianos, mujeres embarazadas y personas que presentan problemas cardiorrespiratorios [8,12], así como en ciertos subgrupos poblacionales que por sus condiciones de trabajo en ambientes exteriores contaminados se encontrarían más expuestos.

Por ello, actualmente es necesario establecer estructuras técnico científicas que desarrollen acciones de vigilancia que permitan identificar poblaciones en riesgo, caracterizar la exposición a contaminantes del aire exterior y cuantificar los efectos adversos que esta exposición representa para la salud humana y la calidad de vida, con el fin de proveer a las autoridades políticas, sanitarias, ambientales y otros actores implicados información que se apoye sobre evidencia científica que permita definir prioridades y aclarar acciones públicas para mejorar la gestión de la calidad del aire y la definición de políticas públicas saludables.

2.1 Fundamentos y criterios orientadores

La vigilancia epidemiológica es la recolección, análisis e interpretación sistemática de datos sanitarios esenciales para la planificación, implementación y evaluación de la práctica en salud pública, estrechamente integrada a la difusión oportuna de dichos datos a quienes precisan conocerlos [9]. Los datos de vigilancia proporcionan información a los interesados en apoyo a los procesos de toma de decisiones, ayudan a definir las acciones de salud pública necesarias y a evaluar la eficacia de los programas [1].

Esta definición hace referencia a tres nociones de base: la vigilancia epidemiológica es un proceso continuo y no únicamente un evento puntual; la rapidez del tratamiento de la información y de la difusión de resultados es indispensable para su buen funcionamiento y, la finalidad del sistema es proveer información que pueda servir para la toma de medidas de prevención de un problema de salud pública [2].

El objetivo de la vigilancia es describir la ocurrencia de enfermedades en determinada área geográfica con relación a persona, tiempo y lugar. La vigilancia proporciona así los medios para determinar la magnitud de un problema de salud pública y estimar la frecuencia de la ocurrencia de enfermedades. La vigilancia permite igualmente identificar subgrupos poblacionales vulnerables, evaluar cambios en los patrones de enfermedad en el tiempo y comparar la ocurrencia de enfermedad entre grupos poblacionales. Esto ayuda a establecer las necesidades de acción en salud pública y evaluar los efectos de los programas de control.

En los últimos años ha habido un cambio significativo en la práctica de la vigilancia epidemiológica ya que se ha ampliado el concepto tradicional, consistente en monitorear episodios de morbilidad o mortalidad de un evento sanitario, para incorporar la vigilancia de los factores de riesgo y, en el caso de la vigilancia ambiental, incorporar los gradientes de exposición y riesgos [10].

antecedentes

3 Antecedentes para la puesta en marcha de un sistema de vigilancia epidemiológica ambiental de la calidad del aire para el área metropolitana del Valle de Aburrá.

Las alteraciones del medio ambiente interfieren directamente en la salud humana e incrementan los costos asociados al tratamiento de enfermedades que pudieran prevenirse. Así, la gestión de los factores de riesgo en salud que provienen de los problemas ambientales debe ser parte integrante de la vigilancia de salud a nivel local, regional y nacional.

Ante la necesidad de conjugar esfuerzos que permitan implementar medidas eficaces para disminuir los niveles de contaminación del aire, el Área Metropolitana está promoviendo la creación de un Comité Epidemiológico Ambiental o una instancia de concertación para el desarrollo de orientaciones y estrategias para el cuidado y uso adecuado de los recursos ambientales.

Esta instancia cuenta con la participación de autoridades municipales, autoridades ambientales, secretarías de salud, de tránsito y transporte, universidades y otros actores que puedan contribuir a la solución del problema de la contaminación del aire y tiene como objetivos desarrollar estrategias, orientaciones y políticas para mejorar la calidad del aire en el AMVA, formular programas e iniciativas enfocados al diagnóstico y prevención de factores de riesgo de la calidad del aire para la salud de la población y promover productos y acuerdos entre los municipios y los diferentes sectores implicados para el control de los factores asociados a la calidad del aire.

En Colombia las acciones de vigilancia en salud pública se encuentran normalizadas por el Ministerio de la Protección Social, según el Decreto No. 3518 de 2006. Dentro de dicha normatividad se destaca la importancia de desarrollar subsistemas de vigilancia que aborden factores de riesgo para la salud, con la participación no solo de las autoridades sanitarias sino también con la participación de diferentes sectores y de la comunidad.

De manera específica el plan de salud ambiental para el país (PLANASA) para el periodo 2000-2010 establece dentro de sus actividades la minimización de factores de riesgo para la salud asociados con la calidad del aire, que comprende el diseño de instrumentos orientados al levantamiento de las información en terreno relacionada con la calidad del aire, de las estadísticas de morbilidad y mortalidad por eventos asociados en relación con el diagnóstico sanitario de las fuentes de emisión; todo lo anterior para efectuar acciones de concertación y coordinación con las autoridades sanitarias y ambientales para lograr la aplicación de medidas de mitigación y control.

estructura

4 Estructura y funciones del sistema de vigilancia

4.1 Objetivos del sistema

El sistema de vigilancia epidemiológica ambiental estará orientado por los siguientes objetivos:

a. Integrar y articular la información útil necesaria para estimar y monitorear los efectos de la contaminación del aire en la salud de la población.

b. Caracterizar y monitorear los contaminantes criterio que representan mayores riesgos para la salud de la población.

c. Estimar los efectos de la contaminación del aire en la salud de la población mediante la correlación de la exposición a los contaminantes monitoreados con los efectos agudos y crónicos sobre la salud.

d. Identificar las poblaciones que pueden estar en riesgo particularmente alto y los factores de riesgo asociados.

e. Proveer información oportuna y válida para apoyar la definición, planificación, implantación, seguimiento y evaluación de programas y políticas para proteger la salud de la población frente a los riesgos de la contaminación del aire.

f. Orientar propuestas de investigación para mejorar nuestra comprensión sobre los efectos en la salud ocasionados por la contaminación del aire, identificar nuevos factores de riesgo y determinar el impacto en el estado de salud de la población de las diferentes políticas, programas y acciones de prevención y control que se realicen para mejorar la calidad del aire.

g. Desarrollar, en colaboración con otras instituciones, capacidad y experticia en salud ambiental para prestar asesoría, control y asistencia para el desarrollo de programas e investigaciones en este campo, que ayuden al mejoramiento de la calidad de vida de la población.

h. Promover el intercambio de experiencias, estudios y acciones educativas orientadas a socializar el conocimiento en este campo.

4.2 Eventos bajo vigilancia

El sistema de vigilancia epidemiológica ambiental de la calidad del aire realizará el monitoreo de eventos ambientales y de eventos de salud.

4.2.1 Eventos ambientales

Por sus conocidos efectos sobre la salud de la población se recomienda el monitoreo de los llamados contaminantes de referencia o contaminantes criterio: partículas suspendidas (PST) y partículas respirables (PM_{10} y $PM_{2,5}$)[2], Óxidos de nitrógeno (NO_x), Óxidos de azufre (SO_x), Monóxido de Carbono (CO), Ozono (O_3), Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) y en especial el benceno, el cual se encuentra reglamentado en la resolución 0601 de 2006 o Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión. Asimismo, se deben monitorear diferentes variables meteorológicas como estabilidad atmosférica, altura de mezcla, temperatura máxima y mínima, precipitación y humedad relativa.

La exposición crónica a concentraciones elevadas de partículas suspendidas finas (≤ 10 micrómetros de diámetro) son las principales responsables de incrementos en la morbilidad y mortalidad por su capacidad de penetrar en los alvéolos pulmonares y traspasar las barreras epiteliales. Por otro lado, en el AMVA se ha observado un incremento anual promedio de 3 µg/m^3 en las concentraciones de PM_{10}, lo cual convierte este contaminante en la principal variable a monitorear.

Las concentraciones elevadas de dióxido de azufre (SO_2) también están asociadas con el deterioro de las funciones respiratorias. Aunque los valores en las estaciones que monitorean este gas en el AMVA se sitúan por debajo de los límites de precaución sanitaria establecidos por la OMS (20 µg/m^3), presentando inclusive una tendencia moderada al descenso. Sin embargo, sus efectos nocivos tanto en la salud de la población como en los ecosistemas justifica que se haga un seguimiento constante de sus concentraciones.

Los óxidos de nitrógeno afectan al sistema respiratorio provocando reacciones inflamatorias, disminución de la función pulmonar e incremento de la resistencia al paso del aire en las vías respiratorias. Aunque los NO_x no se miden sistemáticamente en la red de monitoreo, los valores obtenidos para el área urbana central de Medellín ya superan los niveles de precaución establecidos por la OMS (40 µg/m^3) y se espera un incremento de esta sustancia relacionado con el aumento en la densidad del tráfico automotor.

La presencia de oxidantes en el aire como el ozono puede causar efectos nocivos como irritación de los ojos y dificultad respiratoria cuando se hace ejercicio físico en ambientes exteriores. De acuerdo con las informaciones disponibles las concentraciones octohorarias actuales de ozono en el Valle de Aburrá no representan un riesgo para la salud según los estándares de seguridad sanitaria de

[2] El monitoreo de material particulado fino ($PM_{2,5}$) es de gran importancia por cuanto las investigaciones muestran que este tamaño de partícula es el que produce mayor efecto deletéreo en la salud de las personas. Sin embargo, su monitoreo está sujeto a la disponibilidad de equipos en la red de monitoreo de la calidad del aire del AMVA.

la OMS (50 ppb). Sin embargo, el limitado conocimiento que se tiene del comportamiento de este contaminante en el Valle de Aburrá, las condiciones de radiación solar que favorecen el llamado proceso de smog fotoquímico en la región y el aumento en el tráfico automotor hacen prever un incremento de esta sustancia. Estudios puntuales del Área Metropolitana y de Corantioquia muestran algunos sitios con niveles horarios relativamente altos de ozono.

El monóxido de carbono tiene una alta afinidad con la hemoglobina y es capaz de hacer disminuir la concentración de oxígeno en la sangre, lo que provoca efectos negativos en el sistema cardiovascular, nervioso y en el comportamiento. A pesar de que en el Valle de Aburrá el CO presenta un comportamiento estable y sus concentraciones promedio se encuentran aún por debajo de los límites de precaución para la salud (8,8 ppm en 8 hr), es un contaminante con conocidos efectos deletéreos sobre la salud cuya distribución espacial podría estar afectando algunos grupos poblaciones en riesgo. Por otro lado, también se espera un incremento en sus concentraciones debido al aumento en el tráfico automotor.

Los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) incluyen una gama muy amplia de sustancias con efectos variados en la salud. Llama especialmente la atención la presencia en este grupo de sustancias cancerígenas tales como el benceno, del cual se han encontrado concentraciones que superan la norma colombiana y de la OMS en el centro de Medellín, Itagüí y Bello. El benceno es una reconocida sustancia cancerígena que se adhiere a piel y mucosas y tiene además la capacidad de contaminar aguas superficiales.

Teniendo en cuenta estas consideraciones el sistema de vigilancia debe monitorear sistemáticamente estos contaminantes criterio, así como algunos contaminantes no convencionales con efectos carcinogénicos, teniendo como parámetro los niveles máximos permisibles establecidos en la Resolución 0601 de 2006 o *Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión* [18].

Tabla 1. Niveles críticos de los contaminantes de referencia

Contaminante	Unidad	Tiempo de Exposición	Norma EPA**	Norma Colombiana***	Directríz OMS*
PST	$\mu g/m^3$	media anual media en 24 h	100 400	100 300	
$PM_{2,5}$	$\mu g/m^3$	media anual media en 24 h			10 25
PM_{10}	$\mu g/m^3$	media anual media en 24 h	50 150	70 150	20 50
SO_2	$\mu g/m^3$	media anual media 24 h media en 10 min	80	(80) (250)	(?) (20) (500)

Contaminante	Unidad	Tiempo de Exposición	Norma EPA**	Norma Colombiana***	Directríz OMS*
NO_2	$\mu g/m^3$	media anual media en 24 h media en 1 h	100	(100) (150)	(40) (---) (200)
O_3	ppm / ($\mu g/m^3$)	media en 8 h media en 1 h	80	0.041 (80) 0.061 (120)	(100)
CO	ppm / (mg/m^3)	8 horas 1 hora		8.8 (10) 35 (40)	

Fuente: *OMS, Nota Descriptiva No. 313, Octubre de 2006
**Environment Protection Agency, USA
***Resolución 0601/2006: Norma de Calidad del Aire Ministerio de Medio Ambiente

De otro lado, es igualmente importante el monitoreo de ciertos factores meteorológicos, incluyendo variables de tiempo y lugar que pueden afectar nuestra comprensión de los eventos ambientales y de salud estudiados así como las estimaciones realizadas.

Así, los eventos ambientales que se recomienda monitorear serían los siguientes:

a. Partículas suspendidas totales (PST) y partículas suspendidas respirables (PM_{10} y $PM_{2,5}$): media anual y media en 24 horas. Se recomienda el monitoreo de la concentración horaria.
b. Óxidos de nitrógeno (NO_x): media anual, en 24 horas y en 1 hora.
c. Óxidos de azufre (SO_x): media anual, en 24 horas y en 3 horas.
d. Monóxido de carbono (CO): media en 8 horas y en 1 hora.
e. Ozono (O_3): media en 8 horas y en 1 hora.
f. Benceno: media anual.
g. Factores meteorológicos:

- Estabilidad atmosférica diaria (escala de 1 a 6)
- Altura de mezcla diaria (metros sobre el nivel del piso)
- Temperatura promedio en 24 horas (ºC)
- Temperaturas máximas y mínimas
- Humedad relativa promedio en 24 horas (%),
- Precipitación promedio en 24 horas (mm^3)
- Rosas mensuales de vientos.

4.2.2 Eventos de salud

Se ha documentado ampliamente que la contaminación del aire afecta principalmente los órganos del sistema respiratorio y cardiovascular. Sin embargo, los efectos se distribuyen de manera diferenciada según edad, factores de peligro (Hazard) y factores de riesgo. Dentro de los eventos de salud es necesario monitorear la morbilidad y mortalidad de efectos agudos y crónicos, según lugar y persona de las siguientes condiciones:

a) Morbilidad de enfermedades respiratorias en adultos (> 60 años) y niños (≤ 15 años) residentes en el AMVA, según la 10ª Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE - 10) (CIE J00 – J99)
   - Infecciones respiratorias (CIE J00 – J99)
   - Infección respiratoria aguda (CIE J00 – J39 ; J60 – J99)
   - Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (CIE J40 – J47)
   - Asma (CIE J45)
   - Bronquitis crónica en mayores de 25 años (CIE J41)
   - Bronquitis aguda en menores de 15 años (CIE J20)
   - Infarto agudo de miocardio (CIE I21)
   - Influenza (CIE J10 – J11). Utilizada como variable de control para epidemia por infección viral.

   Las causas de morbilidad se vigilarán de manera pasiva mediante registros de consulta ambulatoria, consulta de urgencias y registros de egresos hospitalarios.

b) Mortalidad en adultos residentes en el AMVA por:
   - Mortalidad por todas las causas

c) Mortalidad por causas cardiovasculares (seguimiento diario cuando sea posible) (CIE I00 – I99)
   - Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (CIE J40 – J47)
   - Enfermedad cardiorrespiratoria (CIE I00 – J99)
   - Cáncer de pulmón (CIE C34)

d) Ausentismo laboral y escolar por enfermedades respiratorias o cardiovasculares.

e) Morbilidad sentida e indicadores de calidad de vida relacionados con la salud, mediante actividades de vigilancia activa, con encuestas en muestras representativas de la población.

f) Evaluaciones especificas de la función pulmonar en grupos de riesgo y grupos de control.

4.2.3 Estrategias de vigilancia

Las variables ambientales se monitorearán mediante una vigilancia activa a través de la red de monitoreo de la calidad del aire en el AMVA. Adicionalmente, se podrá requerir muestreos específicos para el análisis o la investigación de casos y para la evaluación de factores de riesgo.

Las variables sanitarias se monitorearán a través de estrategias de vigilancia pasiva y activa.

Mediante la notificación periódica de casos integrada al sistema de notificación establecido dentro de la vigilancia de salud pública del AMVA (vigilancia pasiva) se recopilarán los casos de morbilidad en adultos por enfermedades respiratorias, asma, infección respiratoria aguda (IRA) y enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), morbilidad en niños por IRA y mortalidad en adultos por EPOC, enfermedad cardiorrespiratoria (ECR) y cáncer de pulmón (CaP).

Para el monitoreo de infecciones respiratorias en niños se utilizará una vigilancia activa mediante redes centinelas y encuestas de morbilidad sentida.

En el caso de presentarse situaciones de alertas ambientales se deberá realizar de manera obligatoria la investigación epidemiológica.

Los datos que aporta la vigilancia servirán de base para formular hipótesis sobre la correlación entre la enfermedad y el agente causal (concentración de contaminantes), las cuales usualmente deben confirmarse mediante otro tipo de estudios, como el diseño de cohorte o de casos y controles.

4.3 Indicadores

Un indicador ambiental de salud pública debe proveer información acerca del estado de salud de la población con respecto a un factor o riesgo ambiental con el fin de proveer información útil para apoyar los procesos de toma de decisiones, el diseño de políticas o la planificación, ejecución y evaluación de programas e iniciativas. En este sentido es importante que los indicadores ambientales se desarrollen en un marco de trabajo que permita integrarlos con otras medidas o programas a nivel regional o nacional y no se limiten al seguimiento de un riesgo o enfermedad particular sino a la construcción de un sistema de vigilancia integral.

Un indicador debe ser confiable, prediciendo la relación factor ambiental / estado de salud que se estudia, debe recopilarse rutinariamente y tener definiciones y estándares de recolección aceptados. Además, dado que los riesgos ambientales para la salud pueden variar con el tiempo, el indicador también debe proveer

información sobre los potenciales riesgos para la salud de una exposición a un agente ambiental.

La selección de indicadores pertinentes y eficaces se orienta siguiendo los siguientes criterios:

- Evaluar la aplicabilidad del indicador propuesto utilizando los siguientes criterios:
    - Basado en vínculos demostrados entre la relación ambiente-salud y ligado a objetivos de salud pública.
    - Con definiciones claras en cuanto a la relación entre el indicador propuesto y el problema de salud pública, dando preferencia a las medidas directas.
    - Medible y con posibilidad de ser monitoreado en el tiempo.
    - Accesibilidad a diferentes niveles (local, regional, nacional).
    - Preciso (confianza y validez).
    - Sensible a cambios en el factor estudiado.
    - Oportuno y orientado a la acción.
    - Con posibilidad de ser incorporado en las intervenciones en salud pública y las regulaciones ambientales.
    - Útil y comprensible para diversos tipos de público.

Por otro lado, los indicadores deben establecerse con base en las necesidades y prioridades locales, de manera que aporten información útil y que sean factibles en su recolección y monitoreo. Las medidas para un indicador dado pueden cambiar con el tiempo dependiendo de los avances tecnológicos y del mejoramiento de nuestra comprensión de las relaciones entre los factores ambientales y la salud de la población.

Se reconocen cuatro tipos de indicadores ambientales en salud pública [7]:

- Indicadores de peligro (Hazard): condiciones o actividades que identifican el potencial de exposición a un contaminante o a una condición de peligro.
- Indicador de exposición: marcadores biológicos que identifican la presencia en el organismo de una sustancia o combinación de sustancias que pueden ser nocivas para el organismo.
- Indicador de efecto en la salud: enfermedades o condiciones que identifican efectos adversos de la exposición a peligros ambientales conocidos o sospechados.
- Indicador de intervención: programas o políticas que minimizan o previenen un riesgo ambiental, una exposición o un efecto en la salud.

Indicador de peligro

a. Concentración de contaminantes criterio y de contaminantes no convencionales con efectos carcinogénicos.
b. Proporción de incremento del consumo de combustible (gasolina y diesel).
c. Proporción de incremento de la densidad vehicular.
d. Proporción de incremento de las emisiones de fuentes fijas y móviles.

Indicador de efecto en salud

a. Proporción de consultas de urgencia por enfermedad cardiorrespiratoria y cardiovascular en adultos.
b. Proporción de incidencia de enfermedad respiratoria, asma y enfermedad cardiorrespiratoria en adultos.
c. Tasas de mortalidad por todas las causas, causas respiratorias, causas cardiovasculares y cáncer de pulmón.
d. Proporciones de incidencia en niños menores de 14 años por enfermedad respiratoria, IRA y asma.
e. Proporción de consulta de urgencia por enfermedad respiratoria en niños.
f. Frecuencia de consumo de medicamentos para el asma (opcional).
g. Ausentismo escolar por enfermedad respiratoria.
h. Ausentismo laboral por enfermedad respiratoria.

Indicador de exposición

A la fecha no existe un indicador adecuado.

Indicador de intervención

a. Tasa de reconversión de vehículos al uso de combustibles limpios.
b. Tasa de disminución de emisiones vehiculares.
c. Consumo de combustibles en la zona (gas, gasolina, diesel, carbón, otras)

Tabla 2. Indicadores ambientales epidemiológicos para la vigilancia de la calidad del aire en el AMVA

INDICADOR	FUENTE	FRECUENCIA
Indicador de Peligro		
a. Concentración de contaminantes criterio y no convencionales con efectos carcinogénicos. Numero de días por encima de la norma.	Red de monitoreo de la calidad del aire	Horaria, diaria, mensual, anual
b. Proporción de incremento del consumo de combustible gasolina y diesel	Ministerio de Minas y Energía	Mensual
c. Proporción de incremento de la densidad vehicular	Secretaría Tránsito y Transporte	Mensual
d. Proporción de incremento de emisiones de fuentes fijas y móviles	Área Metropolitana	Semestral
Indicador de efecto en la salud		
a. Número y Proporción de consultas de urgencia por enfermedad respiratoria, asma, EPOC y enfermedad cardiovascular en adultos.	Registros hospitalarios	Semanal
b. Proporciones de incidencia de enfermedad respiratoria, asma y enfermedad cardiorrespiratoria en adultos.	Estadísticas Secretarías de Salud Municipales	Mensual
c. Tasas de mortalidad general, respiratoria, cardiovascular y por cáncer de pulmón en adultos.	Certificados Individuales de Defunción.	Anual
d. Proporciones de incidencia en menores de 14 años por enfermedad respiratoria y asma.	Red Centinela (EPS, Hospitales)	Mensual
e. Número y proporción de consultas de urgencia por enfermedad respiratoria en niños.	Registros hospitalarios, Red Centinela (EPS, Hospitales)	Semanal
f. Frecuencia de consumo de medicamentos para el asma (opcional).	Red Centinela (EPS, Hospitales)	Semestral
g. Ausentismo escolar por enfermedad respiratoria.	Red Centinela (escolar)	Mensual
h. Ausentismo laboral por enfermedad respiratoria i. Proporción de morbilidad sentida por causas respiratorias, asma auto percibida j. Promedio función ventilatoria en grupos seleccionados	Administradoras de riesgos profesionales, empresas Encuestas poblacionales Estudios especiales	Mensual Ocasional Ocasional
Indicador de intervención		
a. Tasa de reconversión de vehículos al uso de combustibles limpios	Secretaría Tránsito y Transporte	Semestral
b. Tasa de disminución de emisiones vehiculares	Área Metropolitana	Semestral

información

5 Tratamiento de la información

El tratamiento de la información se realiza en tres etapas; recolección, análisis y difusión.

5.1 Recolección de información

5.1.1 Fuentes de datos

a) Contaminantes Ambientales: Reportes de la red de monitoreo de la calidad del aire. Informes de los resultados de investigaciones específicas. Reporte de las Secretarías de Tránsito (circulación, control de gases) y de los distribuidores de combustible.

b) Morbilidad: Formatos de notificación de casos del sistema de vigilancia epidemiológica de las secretarias de salud del AMVA, notificaciones de la comunidad (encuestas de morbilidad sentida) y registros de consultas médicas de las entidades prestadoras de servicios de salud que hagan parte de la red centinela. Igualmente a través de los informes de investigaciones epidemiológicas ante la presencia de situaciones de alerta o de estudios para determinar poblaciones en riesgo y estimación de impacto.

c) Mortalidad: Registros de mortalidad hospitalaria o de urgencia y estadísticas vitales. Informes de los resultados de investigaciones epidemiológicas para estudiar efectos específicos.

d) Otras fuentes: Inventario de emisiones, ventas de vehículos automotores, reconversión de automóviles a combustibles menos contaminantes, volumen de combustibles consumidos.

5.1.2 Datos mínimos recomendados

a. Reporte de resultados de contaminantes

- Concentración promedio y/o máximos de contaminante según el intervalo de tiempo especificado para cada sustancia.
- Número de eventos de superación de la norma para el periodo considerado.
- Lugar de la exposición.
- Eventos importantes en las inmediaciones del equipo de monitoreo que puedan afectar el resultado de la medición (ej. construcciones).

b. Reporte de variables meteorológicas

- Lugar y hora.
- mínimos, máximos y promedios horarios y/o diarios según escala de medida de cada factor.

c. Reporte de casos de morbilidad

- Variables sociodemográficas: edad, sexo, procedencia, escolaridad, ocupación, estrato socioeconómico.
- Estimación costos del tratamiento (costo promedio por diagnóstico).
- Ausentismo escolar por enfermedad respiratoria.
- Ausentismo laboral por enfermedad respiratoria.

d. Reporte de estadísticas vitales

- Causa de mortalidad.
- Variables sociodemográficas: edad, sexo, procedencia, escolaridad, ocupación, estrato socioeconómico.

e. Reporte de encuestas epidemiológicas

- Variables sociodemográficas: edad, sexo, procedencia, escolaridad, ocupación, estrato socioeconómico.
- Causa evento estudiado.
- Efectos evento estudiado.

5.1.3 Consolidado periódico de datos

La información recopilada se consolidará mensual, semestral y anualmente:

- Concentraciones promedio de contaminantes
- Número de casos que superan la norma vigente.
- Distribución conjunta de probabilidades de comportamiento de la atmósfera (velocidad, dirección y estabilidad atmosférica).
- Informe de evolución de la altura de mezcla en el periodo.
- Resultados de factores meteorológicos (lluvias, temperatura, radiación y humedad).
- Número total de casos en adultos según variables sociodemográficas (enfermedad respiratoria, IRA, EPOC, asma, influenza).
- Número total de casos en niños según variables sociodemográficas (enfermedad respiratoria, IRA, asma, influenza).
- Número de admisiones a urgencias en adultos por enfermedad respiratoria, asma y enfermedad cardiorrespiratoria.
- Número de admisiones en urgencia en niños por enfermedad respiratoria y asma.

- Número de muertes en adultos por EPOC, infarto agudo de miocardio, cáncer pulmonar.
- Número de días/escuela perdidos por causa de enfermedad respiratoria.
- Número de días laborales perdidos por causa de enfermedad respiratoria.
- Número de autos convertidos a gas natural u otro combustible limpio.
- Consumo de combustible en galones/vehículo.
- Incremento porcentual del número de automotores.
- Metros cuadrados de construcción para obras públicas y privadas según variable de tiempo y lugar.

5.2 Análisis de información

5.2.1 Indicadores ambientales

- *Concentración de contaminantes criterio y no convencionales con efectos carcinogénicos:*

  Concentraciones promedio y número de veces que supera las concentraciones de referencia según los niveles máximos permisibles para contaminantes criterio y contaminantes no convencionales con efectos cancerígenos presentes en la Resolución 0601 de 2006 de la norma sobre de calidad del aire o nivel de inmisión.

- *Proporción de incremento del consumo de combustibles (gasolina y diesel):*

  Número de galones de combustible en el mes de referencia / Número de galones de combustible en el mes precedente x 100

- *Proporción de incremento de la densidad vehicular:*

  Número de automotores nuevos en el mes de referencia / Número total de automotores en el mes precedente x 100

- *Proporción de incremento de las emisiones de fuentes fijas y móviles:*

  Toneladas de contaminantes emitidos en el semestre de referencia / Toneladas de contaminantes emitidas en el semestre anterior x 100

Para el análisis de los indicadores ambientales se estudiarán sus valores promedios, mínimos y máximos, tendencias en el tiempo (semana, mes, año) y en las diferentes localidades del AMVA. Se analizará mediante el estudio de series de tiempo univariadas y multivariadas.

5.2.2 Indicadores epidemiológicos

- *Proporción de consultas de urgencia por enfermedades respiratorias, asma y enfermedad cardiovascular en adultos:*

  Número de urgencias atendidas en un periodo / Total de consultas en la institución (con alta cobertura registro morbilidad atendida por urgencias el denominador puede ser población a mitad de periodo x 100.000).

- *Proporción de incidencia por enfermedad respiratoria, asma y enfermedad cardiovascular en adultos:*

  Número de nuevos casos en un periodo / Población a mitad de periodo x 100.000

- *Tasas de mortalidad por todas las causas, enfermedades respiratorias, enfermedades cardiovasculares y por cáncer de pulmón en adultos:*

  Número de muertos en un periodo / Población adulta a mitad de periodo x 100.000

- *Proporción de incidencia en niños menores de 15 años por enfermedad respiratoria, IRA y asma:*

  Número de nuevos casos en un periodo / Población infantil a mitad de periodo x 100.000

- *Proporción de consulta de urgencia por enfermedad respiratoria en niños:*

  Número de urgencias atendidas en un periodo / Población a mitad de periodo x 100.000

- *Frecuencia de consumo de medicamentos para el asma (opcional):*

  Prescripciones contra el asma en un periodo / Población a mitad de periodo x 100.000

- *Ausentismo escolar por enfermedad respiratoria en niños escolarizados:*

  Número de días perdidos x periodo

- *Ausentismo laboral por enfermedad respiratoria en población económicamente activa:*

  Número de días de perdidos x periodo

El análisis de estos indicadores se realizará mediante el estudio de tendencias por periodo y por variable socioeconómica (sexo, grupo de edad, estrato). Se efectúa análisis univariado y multivariado de las variables de estudio (contaminantes y estado de salud) y se realiza igualmente la correlación de indicadores ambientales y de salud mediante el análisis de series de tiempo.

5.2.3 Indicadores de intervención

- *Tasa de reconversión de vehículos al uso de combustibles limpios:*

  Número de vehículos reconvertidos por periodo / Número total de vehículos x 100

- *Tasa de disminución de emisiones vehiculares:*

  Toneladas emisiones por periodo / Toneladas emisiones periodo anterior x 100

Estos indicadores se analizan mediante el estudio de su distribución y tendencia por periodo, así como su correlación con los indicadores ambientales.

5.3 Alertas

Las alertas hacen referencia a una serie de eventos relacionados con niveles de concentración y tiempos de exposición a los contaminantes que, según criterios epidemiológicos, requieren una acción inmediata con el fin de limitar y prevenir el efecto deletéreo en la salud de la población.

La Resolución 0601 de 2006 o *Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión* establece niveles de prevención, alerta y emergencia para los contaminantes criterio según concentración y tiempo de exposición.

Tabla 3. Concentración y tiempo de exposición de los contaminantes para los niveles de prevención, alerta y emergencia

Contaminante	Tiempo de Exposición	Unidades	Prevención	Alerta	Emergencia
PST	24 horas	$\mu g/m^3$	375 $\mu g/m^3$	625 $\mu g/m^3$	875 $\mu g/m^3$
PM_{10}	24 horas	$\mu g/m^3$	300 $\mu g/m^3$	400 $\mu g/m^3$	500 $\mu g/m^3$
SO_2	24 horas	ppm ($\mu g/m^3$)	0.191 (500)	0.382 (1.000)	0.612 (1.600)
NO_2	1 hora	ppm ($\mu g/m^3$)	0.212 (400)	0.425 (800)	1.064 (2.000)
O_3	1 hora	ppm ($\mu g/m^3$)	0.178 (350)	0.356 (700)	0.509 (1.000)
CO	8 horas	ppm (mg/m^3)	14.9 (17)	29.7 (34)	40,2 (46)

Nota: mg/m^3 o $\mu g/m^3$: a las condiciones de 298,15ºK y 101,325 KPa. (25 ºC y 760 mm Hg).

Ante situaciones de alerta, se podrán realizar investigaciones operativas que permitan valorar para cortos periodos de tiempo, días, semanas, la consulta por urgencias y los egresos hospitalarios por enfermedades respiratorias, asma y enfermedades cardiovasculares.

5.4 Divulgación y retroalimentación de resultados

La difusión de resultados es el elemento esencial de la vigilancia epidemiológica por cuanto el principal objetivo de la vigilancia es proporcionar información para la acción, es decir, información que apoye la toma de medidas de prevención y de control de un problema de salud pública y que permita evaluar la eficacia de las intervenciones y programas realizados.

Para que un sistema de vigilancia funcione eficazmente, la divulgación de los resultados que produce debe cumplir dos condiciones. En primer lugar, los datos deben ser tratados rápidamente con el fin de que la información esté disponible "oportunamente" para las personas e instituciones responsables de la toma de medidas de prevención y control, así como para otros actores que necesiten estar informados. En segundo lugar, los resultados deben estar presentados de manera que puedan ser fácil y adecuadamente interpretados por los diferentes actores que necesitan de ellos, particularmente los no expertos en el tema. La divulgación debe efectuarse de manera regular y utilizando técnicas que faciliten la comprensión de aquellos que utilizarán la información. Tal y como lo mencionan varios expertos, "sin comunicación regular de resultados cualquier sistema de vigilancia se acabará rápidamente" [3].

Por otro lado, el sistema debe retroalimentar a las personas e instituciones que participan en la recolección y generación de la información con el fin de motivarlas en sus tareas y mantener estándares de calidad en la información recopilada y procesada.

Dado que un sistema de vigilancia epidemiológica está llamado a convertirse en el eje articulador de la planificación, implementación y evaluación de la práctica en salud pública, la divulgación y retroalimentación de la información debe adoptar una perspectiva estructurante dentro del sistema, incluyendo no solamente objetivos de difusión de la información sino también objetivos de sensibilización y educación ambiental, así como de fortalecimiento de la participación ciudadana.

Población blanco y utilidad de la información:

En un sistema de vigilancia de la calidad del aire se pueden identificar varios públicos que pueden estar interesados en la información generada por el sistema para diferentes fines:

Tabla 4. Población blanco y utilidad de la información en el proceso de divulgación

Público interesado	Utilidad de la información
Autoridad ambiental y sanitaria	▪ Monitorear la calidad ambiental del recurso aire y de los contaminantes implicados. ▪ Estimar la magnitud del problema de la contaminación del aire. ▪ Apoyar la planificación e implementación de medidas de control de la contaminación del aire. ▪ Evaluar el impacto y la eficacia de acciones de control y de diferentes estrategias de intervención para mejorar la calidad del aire. ▪ Identificar y caracterizar las situaciones de alerta que se presenten según tiempo, lugar y población afectada, así como las medidas de prevención y control realizadas. ▪ Analizar el comportamiento epidemiológico de la morbilidad y mortalidad atribuible a la contaminación del aire. ▪ Identificar poblaciones a riesgo mediante monitoreos periódicos.
Autoridades municipales, departamentales y/o nacionales	▪ Estimar el impacto ambiental, sanitario, económico y social relacionado con la contaminación del aire. ▪ Proveer evidencia para la definición de políticas que afectan la calidad del aire. ▪ Desarrollar y fortalecer la legislación adecuada para proteger la calidad del aire.
Sector industrial	▪ Evaluar el impacto y la eficacia de las medidas de control. ▪ Estimular el desarrollo de tecnologías de producción limpias.
Sector transporte	▪ Evaluar el impacto y la eficacia de las medidas de control. ▪ Desarrollar medidas eficaces para disminuir el aporte del sector a la contaminación del aire. ▪ Articular el desarrollo del sector transporte con las necesidades de protección ambiental y sanitaria.
Sector académico	▪ Fortalecer la investigación y la formación en este campo. ▪ Impulsar el desarrollo tecnológico para mejorar la calidad del aire.
Grupos ecologistas y otros grupos de presión	▪ Impulsar acciones organizativas, de educación y control de la contaminación del aire.
Comunidad	▪ Mejorar la comprensión del impacto de la contaminación del aire. ▪ Sensibilizar y educar sobre las acciones de control de la contaminación del aire.

Mecanismos de divulgación y retroalimentación:

El mecanismo de divulgación clásico de los sistemas de vigilancia epidemiológica es el "boletín" que incluye el análisis epidemiológico de los eventos monitoreados (morbilidad, mortalidad, otros), teniendo en cuenta los indicadores propuestos. Adicionalmente, se debe utilizar otros canales de comunicación, incluyendo los medios masivos, con el fin de garantizar que la información necesaria sea debidamente comunicada a quienes la necesitan, así como reforzar la sensibilización y educación relacionada con la protección del recurso aire.

La divulgación y retroalimentación del sistema puede contribuir significativamente a estimular la implicación de actores claves y grupos de interés, articulándose al interior de una estrategia de participación ciudadana que mejore la eficiencia de la gestión de la calidad del aire.

5.5 Estrategia de participación ciudadana

La participación ciudadana es un proceso mediante el cual se busca establecer un espacio democrático para intercambiar sobre los valores, actitudes y opiniones de las personas o grupos que tienen un interés específico en un programa o proyecto o que se pueden ver potencialmente afectados por dicha iniciativa [16]. La participación ciudadana es un espacio de aprendizaje social que cumple varias finalidades, entre las que cabe destacar:

- La resolución de conflictos que puedan surgir entre las partes interesadas (grupos de interés).
- La legitimación del proceso y de las decisiones que se tomen.
- La información y educación del público.
- La validación y el mejoramiento de la calidad de la información recogida.
- El fortalecimiento de la práctica democrática.

Dado que la participación ciudadana busca legitimar y mejorar el proceso de toma de decisiones, las formas de participación ciudadana se definen entonces con base en la relación que existe entre el público y la toma de decisiones. Así, la participación puede ir desde la simple transferencia de información (en la cual el público es pasivo), pasando por los mecanismos de consulta (donde se le pide al público retroalimentación y una respuesta activa), hasta mecanismos donde los ciudadanos y la comunidad se encuentran formalmente vinculados con los procesos de toma de decisiones.

El tema de la participación ciudadana en los procesos de gestión de la calidad del aire es relativamente nuevo. Las primeras experiencias en Latinoamérica se iniciaron a fines de los años noventa, particularmente en el contexto de las iniciativas de control de la contaminación del aire de grandes centros urbanos como Ciudad de México, Santiago de Chile y Sao Paulo. En 1999, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), a través de la División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos, puso en marcha un proyecto de fortalecimiento de la conciencia de la ciudadanía como factor determinante en la gestión de la contaminación del aire [17].

Estas iniciativas buscan la creación de un nuevo concepto de ciudadanía medio ambiental que mejore la eficiencia de las políticas de gestión de la contaminación atmosférica implementadas por las autoridades metropolitanas y que ayude a comprender los factores que influyen la eficiencia de la política pública en favor de la calidad del aire.

La estrategia de participación ciudadana consiste en una serie de etapas metodológicas que buscan acercar al público de una manera constructiva a la comprensión y a la acción sobre una problemática particular. Los objetivos de esta metodología pueden resumirse en las siguientes etapas:

- Identificar los diferentes grupos de actores involucrados en la problemática sobre calidad del aire en el Valle de Aburrá.

- Establecer las principales etapas del proceso que se quiere implementar (ej. análisis de necesidades, recolección de información, monitoreo, evaluación, etc.).

- Identificar los procesos de participación ciudadana, es decir los espacios y ámbitos de participación así como los mecanismos sociales e institucionales que la promueven durante las diferentes etapas de gestión de la calidad del aire (identificación y monitoreo de contaminantes, acciones de control de la contaminación atmosférica activados por las autoridades competentes, etc.)

- Definir estrategias de comunicación social. Analizar métodos y técnicas para facilitar la difusión de la información y la comunicación entre los actores del Estado y la sociedad civil para la solución compartida del problema.

Tabla 5
Actores, información y medios de comunicación de la estrategia de participación ciudadana

Actores-Receptores Involucrados	Tipo de información	Medio de comunicación
Autoridad ambiental y sanitaria	▪ Resultados periódicos del monitoreo. ▪ Comportamiento y tendencias de los contaminantes ▪ Estimación efectos en la salud. ▪ Resultados de estudios específicos	▪ Boletines epidemiológicos ▪ Informes de investigación ▪ Reuniones periódicas
Gobiernos municipal, departamental, nacional, secretarías y/o ministerios (educación; minas y energía; salud; ambiente; tránsito y transporte; obras públicas)	▪ Resultados periódicos del monitoreo. ▪ Resultados de estudios de interés al respectivo sector de actividad.	▪ Boletines epidemiológicos ▪ Informes de investigación ▪ Artículos de prensa. ▪ Seminarios, debates, etc.
Sector industrial y de transporte	▪ Resultados periódicos del monitoreo. ▪ Comportamiento y tendencias de los contaminantes ▪ Estimación efectos en la salud. ▪ Resultados de estudios de interés al sector transporte ▪ Información sobre buenas prácticas para lograr reducción en las emisiones. ▪ Información sobre programas e iniciativas para controlar la contaminación atmosférica.	▪ Mesas de diálogo y concertación para tratar temas como: tasas retributivas, sellos verdes, incentivos ambientales. ▪ Publicación de resultados en medios especializados. ▪ Talleres, seminarios sobre temáticas específicas. ▪ Publicidad in situ (folletos, volantes)
Sector académico.	▪ Resultados periódicos del monitoreo. ▪ Comportamiento y tendencias de los contaminantes ▪ Estimación efectos en la salud. ▪ Resultados de estudios específicos	▪ Boletines epidemiológicos ▪ Informes de investigación ▪ Reuniones periódicas ▪ Revistas especializadas ▪ Congresos, seminarios.
Grupos ecológicos y activistas	▪ Resultados periódicos del monitoreo.	▪ Boletines epidemiológicos ▪ Informes de investigación ▪ Talleres, seminarios sobre temáticas específicas. ▪ Medios electrónicos

Actores-Receptores Involucrados	Tipo de información	Medio de comunicación
Población en general ▪ Usuarios de vehículos ▪ Población de niños, jóvenes y adultos	▪ Racionalización en el uso de automóviles ▪ Promoción del uso de transporte masivo. ▪ Mantenimiento técnico-mecánico de automotores. ▪ Uso de combustibles fósiles, alternativos, tecnologías apropiadas. *Niños:* ▪ Sensibilización y capacitación sobre contaminación atmosférica y sus efectos en el medio ambiente y en la salud. *Jóvenes:* ▪ Capacitación sobre los efectos de la contaminación y medidas de prevención y control. *Adultos:* ▪ información sobre contaminación atmosférica y efectos en la salud. ▪ Promoción de la salud y prevención del riesgo a personas susceptibles a los contaminantes atmosféricos. ▪ uso racional de automotores.	▪ Videos sobre contaminación atmosférica y efectos en la salud. ▪ Folletos, volantes, artículos de prensa. ▪ Exposición y charlas en espacios públicos. ▪ Calcomanías, bolsas para basura, accesorios para automóviles que contengan el mensaje sobre calidad del aire y salud, etc. ▪ Información por medios electrónicos. ▪ Charlas en escuelas. ▪ Folletos educativos. ▪ Concursos de video y fotografía sobre la temática de la contaminación atmosférica y efectos (cómo ve la población este problema).

Durante la realización del proyecto “Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud en el Valle de Aburrá” se llevaron a cabo diferentes actividades de socialización del proyecto dirigidas al ambiente académico y a la comunidad en general. Estas actividades se enumeran a continuación:

Con la comunidad en general:

- Presentación para: Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Municipios AMVA y comunidad en general. Lugar: Parque de las aguas, Barbosa 27 de octubre de 2005.

- Programa de televisión: “La fuerza de los argumentos” tema: Medellín y su medio ambiente; producción: Telemedellín y Universidad de Antioquia. Octubre 8 de 2006.

- Ponencia en: Primer congreso Nacional de investigación en salud pública. ”Investigación para la toma de decisiones en el sector salud”. Tema: “Contaminación atmosférica y cáncer de pulmón”. Santa fe de Bogotá, del 23 al 25 de octubre de 2006. ACOESP.

- Conferencia en: 12ª Semana de la Salud Ocupacional. “Una responsabilidad social”. Tema: “Contaminación atmosférica y efectos en la salud”. Medellín, del 25 al 27 de octubre de 2006. Corporación de salud ocupacional y ambiental.

- Participación en: Debates Metropolitanos sobre la calidad del aire en el Valle de Aburrá. Lugar: Centro Internacional de Convenciones Plaza Mayor, Medellín, del 22 al 24 de noviembre de 2006.

- Socialización con la comunidad de cada municipio del Valle de Aburrá donde se realizaron mediciones de contaminantes atmosféricos y pruebas médicas funcionales. Lugar: Municipios AMVA, en el año 2006.

Para grupos académicos:

- Presentación para: el personal Docente, investigador y administrativo de la Sede de Investigación Universitaria (SIU) Medellín; agosto 2006.

- Presentación para: Profesores y estudiantes de postgrado del programa de epidemiología de la FNSP - U de A, el 8 de agosto de 2006.

- Socialización con funcionarios de la Secretaría de Salud y Ambiente del municipio de Girardota. Lugar: FNSP - U de A, en diciembre de 2006.

- Ponencia en: Reuniones de comité epidemiológico entre Área Metropolitana, FNSP y Municipios AMVA. Lugar: Sede administrativa del AMVA y FNSP – U de A. Año 2006.

- Presentaciones para el programa Administración en Salud: Gestión Sanitaria y Ambiental de la FNSP - U de A, para el curso “metodologías de la investigación”; realizadas en el segundo semestre de 2006.

5.6 Estructura operativa del sistema de vigilancia epidemiológica

El sistema de vigilancia epidemiológica debe contar con una estructura técnico-científica que garantice el buen funcionamiento del sistema según atributos ampliamente reconocidos (rapidez, eficiencia, utilidad, adaptabilidad, capacidad de investigación, estabilidad, permanencia, desarrollo del recurso humano, entre otros).

La vigilancia epidemiológica de la calidad del aire se integrará con la iniciativa de puesta en marcha del Comité de Vigilancia Epidemiológica Ambiental. Las labores de vigilancia serán realizadas por una Secretaría Técnica que tendrá las siguientes funciones:

a) Operar y controlar el sistema de vigilancia epidemiológica ambiental de la calidad del aire.

b) Revisar y estandarizar los indicadores ambientales en salud pública para la vigilancia de la calidad del aire, sus métodos de recopilación y análisis.

c) Caracterizar y monitorear los factores de riesgo asociados a la calidad del aire y sus efectos en la salud de la población, así como identificar nuevos factores de riesgo.

d) Recopilar y analizar la información necesaria para el seguimiento epidemiológico ambiental de la calidad del aire.

e) Conducir, participar o promover estudios, proyectos e investigaciones para mejorar el conocimiento sobre factores de riesgo, efectos de la contaminación, efectividad de medidas implementadas, etc.

f) Prestar asesoría y asistencia entre la comunidad científica, la comunidad académica y la población en general del Valle de Aburrá para el desarrollo de proyectos de investigación y de acción en cada uno de los municipios.

g) Promover el desarrollo de iniciativas interdisciplinarias e intersectoriales en este campo.

h) Intercambiar información y materiales didácticos, científicos y tecnológicos relacionados con la calidad del aire.

i) Informar, educar, capacitar y fortalecer la participación pública en todos los aspectos relacionados con la calidad del aire y salud, así como con la prevención y reducción de la contaminación del aire.

j) Presentar al Comité Epidemiológico Ambiental de la Calidad del Aire informes periódicos de los resultados del seguimiento y monitoreo de los indicadores ambientales en salud pública seleccionados.

k) Asesorar al Comité Epidemiológico Ambiental de la Calidad del Aire sobre medidas, intervenciones, programas o políticas necesarias para mejorar la calidad del aire en el AMVA.

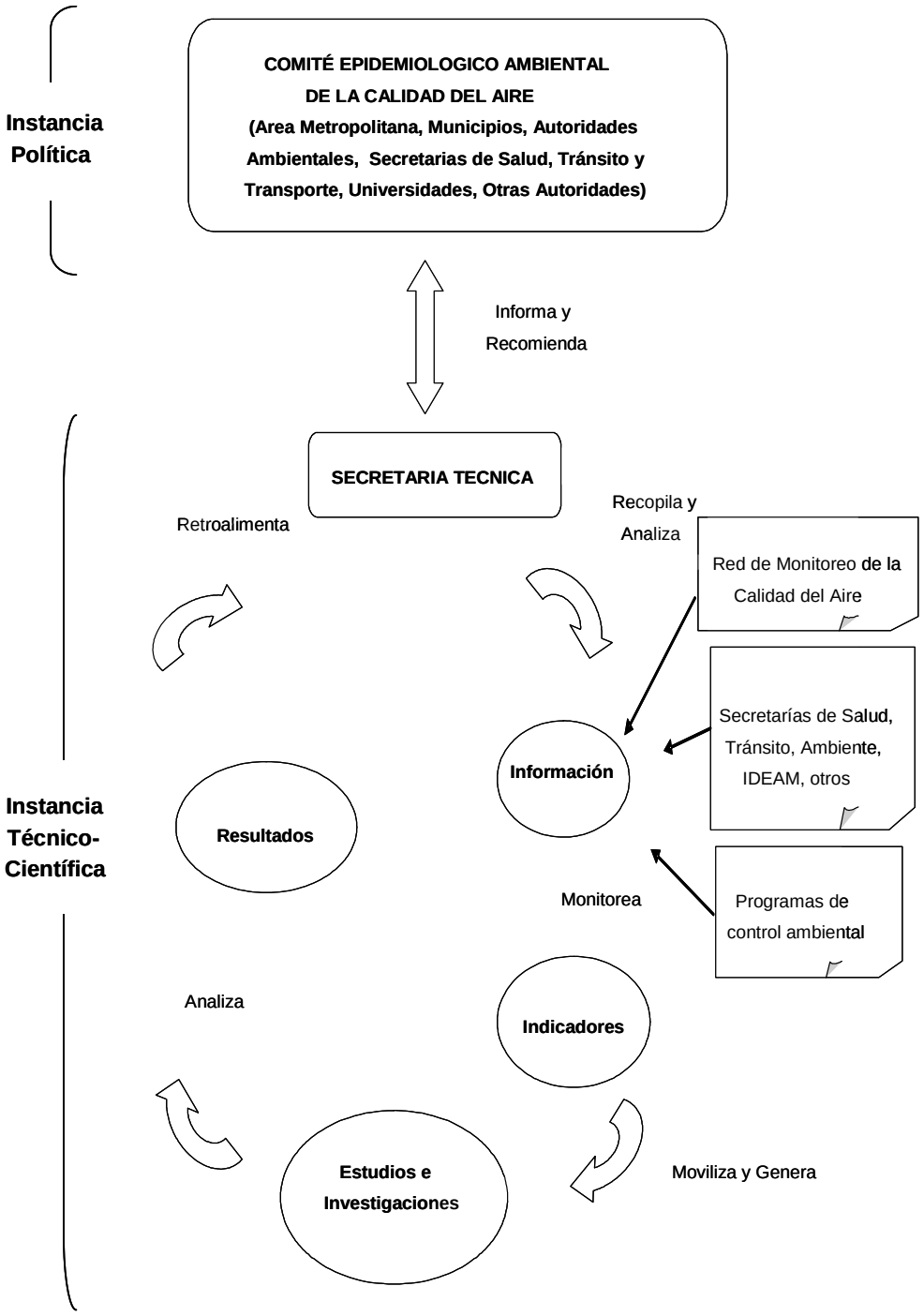


Figura 1: Estructura del Sistema de Vigilancia Epidemiológica Ambiental de la Calidad del Aire

Responsabilidades

6 Responsabilidades del sistema de vigilancia

El sistema de vigilancia funciona con un nivel operativo (Secretaría Técnica) y un nivel estratégico (Comité de Vigilancia Epidemiológica). Estos niveles tienen las siguientes responsabilidades:

Nivel operativo (Secretaría Técnica):

a) Recolección de datos
b) Identificación de alertas
c) Investigación epidemiológica de las alertas
d) Investigación epidemiológica de eventos de interés
e) Análisis de datos
f) Divulgación de la información pertinente a las instancias adecuadas.
g) Notificación al Comité de Vigilancia Epidemiológica

Nivel Estratégico (Comité de Vigilancia Epidemiológica):

a) Desarrollo e implementación de estrategias, orientaciones y políticas para mejorar la calidad del aire en el AMVA.
b) Fortalecimiento de la regulación ambiental para proteger la calidad del aire.
c) Formulación de programas e iniciativas enfocados al diagnostico y prevención de factores de riesgo de la calidad del aire para la salud de la población.
d) Evaluación del sistema de vigilancia epidemiológica ambiental.

evaluación

7 Evaluación del Sistema

La evaluación del sistema de vigilancia epidemiológica constituye una etapa necesaria para medir el cumplimiento de las acciones de vigilancia, la calidad de las intervenciones y proveer las medidas de ajuste necesarias. La evaluación se debe realizar en cada uno de los niveles operativos del sistema.

Para la evaluación del sistema se puede utilizar el marco de referencia internacionalmente aceptado para evaluar los sistemas de vigilancia epidemiológica, el cual incluye [19]:

a) La capacidad del sistema para monitorear los eventos bajo vigilancia, lo cual corresponde a:
    - La disponibilidad de recursos humanos bien capacitados, de recursos técnicos apropiados y de recursos financieros adecuados para realizar las actividades de vigilancia necesarias.
    - El cumplimiento de las directrices establecidas por el sistema.
    - La calidad y consistencia de la información obtenida, así como la estabilidad del sistema.

b) El grado de utilidad del sistema o las acciones tomadas con base en la información suministrada. Esto implica la capacidad del sistema para detectar los casos que se presenten, prevenir y controlar futuros casos, incluyendo la disminución de las tasas de morbilidad y mortalidad del evento bajo vigilancia.

c) El cumplimiento de los atributos esenciales a un sistema de vigilancia, tales como:
    - Simplicidad: Facilidad para la recolección y análisis de los datos ambientales, de salud y otros datos necesarios.
    - Flexibilidad: Capacidad del sistema para incorporar informaciones provenientes de diferentes fuentes y/o para integrarse con un sistema nacional/regional de vigilancia de la calidad del aire.
    - Aceptabilidad: Voluntad de los individuos y organizaciones para participar en el sistema de vigilancia.
    - Sensibilidad: Habilidad del sistema para detectar los casos de morbilidad o mortalidad relacionados con la contaminación del aire.

- Valor predictivo positivo: Proporción de casos de morbilidad y mortalidad cardiorrespiratoria realmente atribuibles a la contaminación de aire.
- Representatividad: Capacidad del sistema de reflejar con exactitud los casos de morbilidad y mortalidad por enfermedad cardiorrespiratoria atribuible a la contaminación del aire que suceden en los diferentes municipios del AMVA.
- Oportunidad: Rápida disposición de los datos de los eventos bajo vigilancia para tomar decisiones y efectuar intervenciones.

bibliografía

Bibliografía

1. Langmuir, A. (1976). "William Farr: Founder of Modern Concepts of Surveillance". Internacional Journal of Epidemiology. Vol 5, no. 1 (13-18).
2. Thacker, S.B., Choi, K., Brachman, P.S. (1983). The Surveillance of Infectious Diseases". JAMA, March 4, vol. 249, no. 9.
3. Dabis, F., Drucker, J., Moren, A. (1992). "Surveillance épidémiologique, en Épidemiologie d'intervention". Arnette, Paris.
4. Klauke et al. (1988). "Guidelines for Evaluating Surveillance Systems". MMWR, vol. 37, no. S-5, May 6, 1988.
5. Sandiford, P., Annett, H., Cibulskis, R. (1992). "What Can Information Systems do for Primary Health Care? An International Perspective". Society Science Medicine, vol. 34, no. 10 (1077-1087).
6. De Kadt, E. (1989). "Making Health Policy Management Intersectoral: Issues of information Analysis and Use in Less Developed Countries". Society Science Medicine, vol. 29, no. 4 (503-514).
7. Centers for Disease Control and Prevention National Center for Environmental Health Division (2005). "Environmental Indicators in Public Health". 2005. Environmental Public Health Indicators Project; CDC, NCEH, EHHE; Atlanta, Georgia March 2005.
8. Organización Panamericana de la Salud (2005). "An Assessment of Health Effects of Ambient Air Pollution in Latin America and the Caribbean" Organización Panamericana de la Salud, Santiago; Chile.
9. Last JM. (2001). "A dictionary of epidemiology". Oxford University Press. New York.
10. Corvalán C, Briggs D, Zielhuis G. (2000). "Decision-making in environmental health: from evidence to action". Organización Mundial de la Salud.
11. Gouveia N, Maisonet M. (2005). "Health effects of air pollution. En: Organización Mundial de la Salud. WHO Air Quality Guidelines: 2005 update". Holanda.
12. Organización Mundial de la Salud (2006). "Quantification of the Health Effects of Exposure to Air Pollution". Organización Mundial de la Salud: Holanda.
13. Rothman K, Greenland S. (1998). "Modern epidemiology". 2nd ed. EEUU: Lippincott Williams & Wilkins.
14. Martínez F. (2004). "Vigilancia epidemiológica". Madrid España: McGraw Hill Interamericana, pag 15-37.
15. Antó J, Castellanos P, Gili M, Marset p, Navarro V. (1998). "Vigilancia de la salud pública. En: Martinez F. Salud Pública". Santa fe de Bogotá: McGraw Hill Interamericana.
16. Webler, T., Kastenholz, H. & Renn, O. (1995). "Public participation in impact assessment: a social learning perspective". EIA Review, 15: 443-463.
17. CEPAL (2007). "Fortalecimiento de la conciencia de la ciudadanía en la gestión de la contaminación atmosférica en las metrópolis latinoamericanas (México, Santiago, Sao Paulo)". CEPAL/ JICA.
18. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2006). "Resolución 0601 de 2006". Santafé de Bogota, 4 de abril de 2006.
19. United States Centers for Disease Control and Prevention. Updated guidelines for evaluating public health surveillance systems. MMWR. 2001; 50(No. RR-13): 1-35.

anexos

Anexo 1

Protocolo para la Recolección del Dato sobre la Calidad del Aire para la evaluación del Impacto en salud

1. OMS - Criterios para la evaluación del impacto de la calidad del aire en salud[3]

- **Cobertura de Tiempo**: Año calendario, considerando épocas secas y de lluvia.

- **Validez de las estaciones**: Para datos promedio de una hora, contar con al menos el 75% de datos válidos; para promedios móviles de ocho horas con base en mediciones por hora, el número de horas debe ser por lo menos 18 (75%); para obtener el promedio de 24 horas, disponer al menos del 50% del tiempo, para obtener variaciones estacionales o promedios anuales, disponer al menos del 50% de datos válidos para el período

- **Índices y parámetros estadísticos:**
  - Para estaciones que completen criterios de validez:
    Máximo 1 hora promedio o promedio diario de NO_2
    Máximo 1 hora promedio y máximo 8 horas promedio móvil en un día (24 horas) para Ozono.
    Promedio diario (24 horas) para SO_2, PST, hollín y PM_{10}
  - Para el cálculo de parámetros estadísticos:
    Promedio aritmético: por encima del 50% de los datos
    Percentil 98 y máximo: por encima del 75% de los datos
  - Para obtener el promedio anual:
    Para CO y NO_2: Períodos de invierno y verano (lluvia y secos)
    Para Ozono: Período de verano
    Para SO_2, PST, hollín y PM_{10}: Período de invierno (lluvia)

2. Inventario de Emisiones[4]

- **Inventario de fuentes fijas**: (suma de emisiones en áreas de 1 kilómetro por 1 kilómetro), calcular índices de emisión por habitante.

- **Inventario de fuentes móviles**: Crecimiento del parque automotor (vehículos matriculados por año), emisiones de material particulado por fuentes móviles (emisión PTS, kg/h), Canasta de consumo de combustibles (consumo y calidad).

[3] WHO – ECEH European Centre for Environmental and Health. Bonn Office. Air quality and Health Impact Assessment Tool (Air Q). Annex B., October, 2001
[4] Politécnico Jaime Isaza Cadavid, Universidad de Antioquia, Universidad Pontificia Bolivariana. Programa de Protección y control de la calidad del aire en el Valle de Aburrá (AMVA), 1998 (código A02, 0246 Volumen 1)

- **Inventario de Fuentes de área**: Emisiones de material particulado por construcción (área por construir, emisión kg/h).

La estimación de las emisiones por fuente, permite orientar medidas de vigilancia y líneas de base para evaluar el impacto de intervenciones. Se deben incluir también los *modelos fuente receptor*.

3. Características de la Red de Monitoreo[2]

Se deben hacer explícitos los criterios para evaluar:

- Distribución de contaminantes
- Número de estaciones
  - A partir de datos de calidad del aire
  - Modelación de dispersión de contaminantes
  - Datos poblacionales
- Sitios de muestreo
  - Área de cobertura
  - Variabilidad en la concentración de los contaminantes
  - Objetivos del muestreo
  - Datos de población
  - Relación de la concentración con la norma de calidad
  - Identificación de áreas críticas
  - Estudios específicos
  - Topografía
- Frecuencia de muestreo
- Métodos de análisis y equipos de monitoreo
  - Incluir equipos para la medición de hollín
  - Equipos para la medición de aire respirable
- Sistema de recolección y procesamiento de la información
- Estrategias de Divulgación
- Aseguramiento de la calidad:
  - Exactitud
  - Precisión
  - Taza de captación de datos
  - Compatibilidad de las mediciones con estándares nacionales e internacionales.
  - Consistencia a largo plazo
  - Comparaciones

Anexo 2

ASPECTOS CRÍTICOS DE LA CALIDAD DEL DATO EN MONITOREOS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR MATERIAL PARTICULADO

Aspectos que pueden incidir significativamente en la calidad del dato:

1. Capacitación del personal

El personal encargado del proceso de muestreo ambiental se capacita técnica y analíticamente durante el transcurso del proyecto, minimizando así los posibles errores humanos en el monitoreo de la calidad del aire, en cuanto a material particulado con medidores de alto volumen (HI-VOL) y PM10; los aspectos más relevantes son:

- Principio de funcionamiento del equipo
- Conexiones del equipo.
- Conocimiento del estado del motor.
- Cambio de escobillas del motor.
- Manejo del temporizador y contador de horas.
- Lectura de datos del equipo (presión y tiempo).
- Adecuada instalación del equipo.
- Manejo adecuado de los filtros.
- Procesos técnicos y de laboratorio.
- Análisis e interpretación de resultados.
- Mantenimiento del equipo.

Para este fin todas las personas involucradas en el proceso de medición, manejan competentemente el manual de funcionamiento de los equipos de monitoreo de la calidad del aire; además, se entrena su capacidad de reacción para poder dar soluciones a los inconvenientes que se puedan presentar en el trabajo de campo con respecto a los instrumentos para realizar las mediciones.

2. Ubicación de equipos de monitoreo de la calidad del aire

En los estudios epidemiológicos es necesario identificar tres aspectos principales: primero el contaminante y la concentración a la cual se encuentra expuesta la población, segundo el número de personas que se encuentran expuestas y tercero el impacto en la salud causado por este contaminante. Para desarrollar el primero de estos tres aspectos fue indispensable tener en cuenta que la concentración medida debe representar la verdadera exposición de la población, lo que depende en primera instancia de la ubicación del equipo con el que se va a medir dicha concentración; por esto fue necesario tener en cuenta las siguientes variables de ubicación de los equipos de monitoreo:

- Altura con respecto al nivel del piso
- Distancia de las fuentes de contaminación
- Características del lugar de estudio
- Barreras naturales
- Barreras artificiales.

La metodología que se utilizó para identificar los verdaderos niveles de exposición a los contaminantes del aire de la población objeto, consistió en instalar los equipos de medición cerca a la vía, a nivel de piso, en cruces de alto tráfico vehicular, midiendo la calidad del aire que respiran los transeúntes.

Los resultados han mostrado que las mediciones a nivel de piso, son significativamente superiores a las mediciones obtenidas con los equipos de la actual red de monitoreo de la calidad del aire para el Valle de Aburrá. Esto sugiere la importancia de realizar monitoreos constantes de los niveles de concentración de material particulado fino a nivel de piso, estableciendo así el grado de contaminación que respiran las personas.

3. Humedad por lluvia

- **Desecación de filtros**

  - La eliminación total de la humedad captada por el filtro es determinante en el resultado del pesaje de este. La sílica gel se utilizó bajo sus características de color adecuado el cual muestra su buen estado, buen almacenamiento y condiciones dentro del desecador para que en un periodo de 24 horas extrajera la humedad total del filtro.

  - Se recomienda un control estricto sobre las condiciones físicas de la sílica gel, mas tiempo de desecado de los filtros ó la utilización de métodos alternativos de secado con calor en hornos microondas.

4. Cálculos

En todas las operaciones es fundamental hacer un seguimiento exhaustivo al procedimiento de cálculo con el fin de minimizar el porcentaje de error y obtener un resultado más aproximado al fenómeno que se desea conocer.

Es importante anotar que los datos utilizados para realizar los cálculos con sus respectivas fórmulas, estén validados para evitar confusiones y resultados negativos.

El concepto de error en este caso tiene que ver directamente con el cálculo numérico, los errores asociados al cálculo de la concentración de material particulado por el método gravimétrico tienen que ver con los siguientes factores:

- Utilización incorrecta de las formulas según el método de muestreo
- Errores en la trascripción de las fórmulas
- Manejo inadecuado de las funciones de la hoja de cálculo
- Redondeo de cifras

A continuación se presenta la fórmula para calcular las concentraciones de material particulado:

Formula: $$C = \frac{1*10^6 * (W_{final} - W_{inicial}) - (W_{blanco\ final} - W_{blanco\ inicial})}{Q * Tiempo}$$

$$Q_{ref} = \frac{\sqrt{\Delta H * \frac{P_a}{P_{std}} * \frac{T_{std}}{T_a}} - b}{m}$$

Los cálculos pueden verse afectados por errores humanos dada la complejidad de las formulas que se utilizan.

Se recomienda establecer un procedimiento para garantizar la calidad de los resultados de la aplicación de la fórmula. Un método posible podría ser la duplicación de los cálculos sobre una base aleatoria.

5. Calibraciones

Los posibles errores que se pueden presentar al realizar la calibración de los equipos de monitoreo de la calidad del aire, como HI-VOL y PM10, pueden ser los siguientes:

- Se pueden presentar fugas en la conexión del calibrador por ajustar insuficientemente el cilindro de este, produciendo disminuciones de la presión en el manómetro; afectando así las mediciones de la caída de presión, el flujo de aire succionado y finalmente la concentración de material particulado.

- En la conexión del manómetro a la toma de muestra del calibrador o del motor se pueden realizar conexiones desajustadas que también pueden producir fugas e indudablemente errores en los datos de la presión del caudal de aire a tomar.
- Al realizar la curva de calibración se debe tener cuidado al ingresar correctamente los datos en los ejes coordenados; eje Y (caudal de referencia) y eje X (ΔP).

Factores que controlaron los posibles errores descritos anteriormente:

- El calibrador se conectó ajustándolo al equipo de muestreo adecuadamente, poniendo en orden los discos que contienen diferente número de orificios, como lo especifica el método de medición de material particulado de los protocolos de RedAire; verificando los datos, tomando varias veces la medición con un manómetro, para asegurar el buen funcionamiento del monitoreo de la calidad del aire.
- Al conectar el manómetro se verificó la conexión de su manguera al motor y al calibrador para que no se presentaran fugas.
- En repetidas oportunidades en el momento de la calibración de los equipos de muestreo, se realizó la medición de la presión del flujo de aire que succiona el equipo, hasta que estas se estandarizaran, y se pudiera confiar en el dato tomado.

6. Pesaje

Para disminuir la posibilidad de error fue necesario seguir rigurosamente el método adecuado, el cual consiste en los siguientes aspectos:

- Se realizó en un laboratorio con las características adecuadas para cumplir con los procedimientos documentados, con equipos suficientes y en buen estado; teniendo en cuenta el control de la humedad relativa y la temperatura.
- La balanza estaba calibrada con certificado avalado y vigente por la superintendencia de industria y comercio. La balanza se encendía entre veinte y treinta minutos antes de iniciar el proceso de pesaje de filtros hasta que lograra estabilizarse. Al momento de pesar fue necesario poner un recipiente sobre el cual se colocaban los filtros, luego se taraba (colocar en cero) la balanza para sustraer el peso del recipiente.
- Al terminar cada monitoreo de material particulado, los filtros se llevaron al laboratorio y fueron pesados inmediatamente. El pesaje de los filtros tiene un plazo máximo de ejecución de 30 días a partir del recibo de estos después de un monitoreo de material particulado. El pesaje de los filtros utilizados en las mediciones, se realizó en el laboratorio de la Facultad Nacional de Salud pública en el área de Higiene Ambiental.
- Se realizó un repeso cada 10 filtros para controlar la calidad en el pesaje, de los filtros usados y limpios. Se envió de forma aleatoria cierta cantidad de muestras de material particulado de acuerdo al número total de filtros pesados

al laboratorio de Carbones de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional para verificar la calidad del pesaje.

- Los filtros se desecaron por un período de 24 horas antes de ser pesados para equilibrar las irregularidades que se pueden presentar durante el tiempo de monitoreo tales como: material flojo, decoloración, falta de uniformidad en el filtro. Si el laboratorio al momento del pesaje de filtros no cuenta con las condiciones apropiadas de humedad relativa, éstas se deben restablecer y mantener los filtros por otras 24 horas en desecado.

7. Manipulación de filtros

- Siempre y en todo el proceso se utilizaron guantes quirúrgicos nuevos para la manipulación de los filtros, conservando sus características de peso, antes y después de los monitoreos de material particulado, evitando la recontaminación de estos por la humedad y suciedad de las manos.

- Se doblaron cuidadosamente para prevenir posibles quiebres, rompimiento y finalmente pérdidas del material particulado impactado y recolectado en estos.

- Los filtros utilizados fueron guardados inmediatamente después de los muestreos, en bolsas plásticas con cierre hermético (tipo Ziploc), para conservar en buen estado la muestra y evitar así la adición de humedad y nuevo material particulado.

- Los filtros se pesaron bajo temperatura ($22 \pm 3\ ^{o}C$); la humedad relativa fue variable y estuvo en un rango entre 40 – 60%. Previo al pesaje, los filtros se estabilizaron 24 horas antes y después de su uso. Los pesos de los filtros se ajustaron a las fluctuaciones de la balanza en la masa de los filtros blancos de laboratorio (por ej. La diferencia de peso registrada entre el inicio y final del pesaje). Se debe utilizar un 5% de filtros como blancos de campo en los muestreos de PM_{10}.

  Los resultados de los filtros (blanco) se deben utilizar para corregir los efectos del manejo de los filtros, ajustando la masa de los filtros muestreados por el promedio de la masa de los blancos de campo. Se debe designar el 5% de los filtros para la validación de las mediciones, realizando mediciones paralelas.

- El almacenamiento de los filtros limpios y usados se hizo con mucha precaución, en los embalajes originales, en un lugar fresco y seco, libre de objetos que pudieran ejercer presión sobre ellos; conservando su calidad, ya que estos se podrían deteriorar fácilmente fracturándose, perdiendo pequeñas partes, quedar inutilizables y así también cambiar el peso tomado de estos en el laboratorio.

8. Funciones instrumentales

- Se realizó una inspección visual completa a los equipos de monitoreo de la calidad del aire, para verificar que no tuvieran ninguna irregularidad en su estructura y principio de funcionamiento.
- Se verificó el buen estado de los instrumentos que se utilizaron (calibrador; equipo de medición HI-VOL; impactador de cascada (PM_{10}); manómetro; contador de horas; y timer). Es importante tener en cuenta que el calibrador tiene que calibrarse con otro de mayor jerarquía al menos una vez al año. Se ha observado que esta norma no se cumple en la mayoría de los equipos.

9. Calidad del filtro

- La variedad de filtros para el monitoreo de la calidad del aire que se encuentran en el mercado es alta, por lo cual se utilizó una marca específica para garantizar la calidad de los muestreos; ya que estos filtros varían en peso, textura, tamaño del poro, rugosidad y tamaños de sus medidas.
- Los filtros se almacenaron de una manera adecuada, manteniendo sus características físicas estándares, para evitar la alteración de los datos a tomar en los monitoreos de la calidad del aire.

10. Caudal de aire

Los equipos de medición de material particulado siempre fueron calibrados cuidadosamente con su respectivo kit, en cada monitoreo y en cada nuevo lugar donde las condiciones atmosféricas eran diferentes.

Las mediciones de caudal de aire de cada equipo se realizaron con un manómetro de nivel de agua, al principio (ΔP inicial) y al final de cada medición de material particulado (ΔP final).

Los errores relacionados con el caudal del aire pueden darse a varios niveles:

- La medición de los caudales de aire pueden ser imprecisas ya que a medida que se satura el filtro, el flujo se empieza a reducir. Además los equipos utilizados tienen motores de flujo másico y no se utiliza la variación del caudal.
- Este caudal también varía según la corriente de aire que llegue al equipo y por lo tanto cambia el flujo y así mismo fluctúan también los ΔP (flujo de aire saliente) y los ΔH (flujo de aire entrante en la calibración de los equipos).

- La corriente eléctrica que entra a los equipos de monitoreo de material particulado podría variar significativamente por fluctuaciones que se presenten desde el lugar de donde se tome la energía para realizar el muestreo; esto hace que el motor del equipo tenga diferentes revoluciones, sean mayores o menores, cambiando así el flujo de aire que recibe el equipo de monitoreo y pudiendo cambiar el promedio del caudal recibido por este.

Anexo 3

Protocolo para la Recolección del Dato sobre Efectos en la Salud relacionados con la Calidad del Aire

Datos de Mortalidad

Certificados anuales de defunción – DANE

Causas:

- Total de muertes por todas las causas
- Total de muertes y por grupos quinquenales de edad por causas cardiovasculares (CIE I00 – I99)
- Total de muertes y por grupos quinquenales de edad por Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (CIE J40 – J47)
- Total de muertes y pro grupos quinquenales de edad por Enfermedad cardiorrespiratoria (CIE I00 – J99)
- Cáncer de pulmón (CIE C34)

Datos de Morbilidad

- **Fuente Secundaria**

Registros individuales de prestación de servicios (RIPS) de consulta externa, consulta de urgencias y de hospitalización. En unidades de salud centinelas por períodos mensuales y por personal seleccionado para el proceso de recolección.

Causas:

- Total de consultas por enfermedades respiratorias en adultos (> 60 años) y niños (≤ 15 años) residentes en el AMVA, según la 10ª Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE - 10) (CIE J00 – J99)
- Infección respiratoria aguda (CIE J00 – J39 ; J60 – J99)
- Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (CIE J40 – J47)
- Asma (CIE J45)
- Bronquitis crónica en mayores de 25 años (CIE J41)
- Bronquitis aguda en menores de 15 años (CIE J20)
- Infarto agudo de miocardio (CIE I21)
- Influenza (CIE J10 – J11). Variable de control para epidemia por infección viral.

Datos demográficos: Población a mitad de período por grupos etáreos para el denominador de los indicadores

- **Fuente Primaria**

Morbilidad sentida e indicadores de calidad de vida relacionados con la salud, mediante actividades de vigilancia activa, con encuestas en muestras representativas de la población.

Propuesta de Diseño de una Encuesta para medición de efectos de la contaminación atmosférica en la salud

1. Cuáles deben ser las variables

Si partimos de la premisa, que la contaminación atmosférica afectará por sentido lógico, a todas las estructuras orgánicas que entran en contacto con el aire circundante, es necesario explorar la aparición de signos y síntomas clínicos en piel, mucosas y vías respiratorias.

De esta forma, las variables indicadas de exploración pueden consignarse en una amplia lista que pretenda ser exhaustiva en relación con las manifestaciones patológicas de mayor significación clínica. La gama de signos, síntomas y nosologías, podría ser tan amplia como sea necesario:

Respiratorios: Tos, dificultad respiratoria, congestión nasal, estornudos, resfriados, ardor en la garganta, alteraciones de la voz, expectoración, asma, bronquitis, neumonías, etc.

Ocular: Irritación de conjuntivas, blefaritis, pterigios, conjuntivitis, orzuelos, queratitis, alteraciones visuales, etc.

Piel: Enrojecimiento, brotes, prurito, discromías, queratosis, resquebrajamiento, resequedad, suciedad, vesículas, laceraciones, abrasiones, etc.

Auditivas: Otitis externa, otitis media, cerumen, taponamientos, hipoacusias, etc.

2. Cierre de campo

Es conveniente cerrar el campo de las investigaciones poblacionales para contener justamente las variables que se consideran de mayor interés, para reducir en lo posible la extensión del cuestionario y así facilitar la recolección de la información, disminuir el tiempo requerido, simplificar el análisis y mejorar la aceptación del interrogatorio por parte del evaluador y por parte del examinado.

Para el interés de nuestro proyecto en explorar los efectos de la contaminación atmosférica en la salud, consideramos más apropiado centrar nuestra atención en los efectos orgánicos sobre el sistema respiratorio, amparados en la evidencia científica hasta ahora recolectada y bajo la presunción de que las vías respiratorias son probablemente los tejidos más sensibles a las impurezas del aire, al igual que las conjuntivas oculares.

3. Nivel de medición

Existen varias formas de medir una variable, desde la más sencilla y gruesa, hasta la más sofisticada y fina. En general pueden distinguirse 4 niveles de medición:

N. Nominal. Las variables tienen categorías que se designan con un nombre cada una. Estas categorías pueden ser solamente dos que se plantean en opciones mutuamente excluyentes.

Ej: sí / no; hombre / mujer; positivo / negativo, etc.
También pueden ser varias categorías, aunque sin que pueda establecerse entre ellas un orden definido.
Ej: católico / protestante / adventista / otro; soltero / casado / viudo; blanco / azul / rojo / otro; etc.

N. Ordinal. Se construyen categorías, pero entre ellas puede configurarse un ordenamiento. En este nivel se avanza un poco en el sentido de otorgarle a cada categoría una posición en el espectro de intensidades.

Ej: alto / medio / bajo / ninguno; frecuente / ocasional / escaso / nulo; máximo / alto / medio / bajo / mínimo.

N. de Intervalo. Se constituyen clases o rangos que incluyen límites inferiores y superiores. El nivel de medición es mejor porque aporta no solo el orden, sino también las distancias a las cuales se ubican cada uno de los intervalos.

Ej: temperatura: < 10 / 10-20 / 20-30 / 30-40 / > 40 grados centígrados.

N. de Escala individual. También llamado nivel de razón o proporción, donde tienen cabida las variables que admiten una medición más objetiva y precisa, es la escala de números discretos o valores continuos. Es el nivel óptimo de medición por el grado de discriminación que se logra al poder asignar a cada uno de los sujetos un valor individual que mide la cantidad precisa del atributo que posee. Sería ideal acceder a este nivel de medición cuando ello es posible por las ventajas adicionales que se obtienen al analizar, comparar y procesar los datos estadística y epidemiológicamente.

Ej: colesterol sérico: 147, 284, 118, 175, 194, 207, etc.

Desde el punto de vista de la calidad de la medición, en tanto más fina, exacta y precisa sea una medición, tanto mejor. En otras palabras, es conveniente tratar de medir las variables al mejor nivel de discriminación posible, para obtener la mayor individualización de los datos, tener un mayor espectro de variación descrita y aprovechar la ventaja estadística de las pruebas paramétricas y su mayor capacidad para detectar diferencias.

Escalas de Medición

Tipo de medición	Características de la variable	Ejemplo	Estadística apropiada	Potencia y contenido de la información
Categórica* Nominal	Categorías no ordenadas	Sexo, grupo sanguíneo, estado vital	Recuentos, tasas, proporciones, riesgo relativo, X^2, Mantel-Haentzel, regresión	Baja
Ordinal	Categorías ordenadas con intervalos no cuantificables	Grado de dolor	Además de lo anterior: mediana, correlación ordinal	Intermedia
Continua o discreta**	Espectro ordenado con intervalos cuantificables	Peso, número de cigarrillos/día	Además de lo anterior: media, desviación estándar, prueba de la *t,* análisis de varianza, regresión más potente	Elevada

*Las mediciones categóricas que contienen sólo dos clases (por ej., sexo) se denominan dicotómicas.
** Las variables continuas tienen un número infinito de valores (p. ej., peso) en tanto que las variables discretas tienen una escala finita (p. ej., número de cigarrillos al día). Las variables discretas ordenadas (es decir, distribuidas en una secuencia de pocas a muchas) y que tienen un gran número de valores posibles se parecen a las variables continuas a efectos prácticos de medición y análisis.

Ha sido clásico preguntar por los síntomas respiratorios mediante la forma más escueta, donde la única respuesta posible es ***sí*** o ***no***. Esta forma de preguntar y responder plantea diversas limitaciones:

- Admite solo dos categorías
- Quienes alguna vez han tosido, dudan de considerarse como tosedores si asumen que de todos modos una tos ocasional no representa propiamente una anormalidad, al fin y al cabo la tos es una respuesta defensiva normal ante un irritante que puede ser enteramente ocasional.
- Otras personas que también han tenido algún acceso de tos circunstancial, podrían incluirse como tosedores crónicos sin realmente serlo.
- Las posibilidades estadísticas con solo dos categorías son pobres y se limitan a proporciones, no obstante, la mayor dificultad será generada por la contaminación de los grupos: tosedores que incluyen no tosedores y viceversa.
  Esta clasificación podría echarse a perder completamente sobre la base de una alta proporción de falsos positivos y falsos negativos, y lo que es aún peor, se puede perder la posibilidad de descubrir las verdaderas asociaciones entre las variables de interés, pues la contaminación de las categorías oscurece las diferencias verdaderas que puedan existir entre grupos.

Es necesario, entonces, tratar de mejorar el nivel de medición de los síntomas respiratorios mediante escalas con categorías ordinales tipo Likert, donde se establecen varios grados de afectación: alto, medio, bajo, ninguno.

Más beneficioso aún, sería realizar una medición con categorías aún más discriminadas, ordenadas y que cumplan las condiciones de total exhaustividad y mutua exclusión; es decir, que cada persona encuentre en la gama de respuestas una posibilidad que es la que mejor se ajusta a su condición y que además ninguna persona pueda quedar excluida de la clasificación.

Para sacar provecho de estas consideraciones, en nuestro estudio ensayamos escalas adecuadas de 3, 5 y 10 opciones, al final concluimos que es posible utilizar la alternativa que más discriminación logra y que permite incluso traducir las categorías a la escala de los 10 números dígitos, con el fin de intentar aproximaciones a la escala de números discretos.

Para aumentar la claridad en la comprensión de las opciones de respuesta se presentó la escala con las 10 alternativas numéricas acompañadas de su respectiva traducción en adverbios y adjetivos comprensibles, y además en su correspondiente equivalencia en una escala de frecuencia del síntoma en apropiada secuencia de ascenso o descenso.

número	**Frec. cualitativa**	**Frec. cuantitativa**
9	siempre	7 v / sem
8	casi siempre	6 v / sem
7	muy frecuente	5 v / sem
6	frecuente	3 v / sem
5	algo frecuente	1 v / sem
4	poco	2 v / mes
3	muy poco	1 v / mes
2	ocasional	3 v / año
1	casi nunca	1 v / año
0	nunca	1 v / vida

4. Variables Neurosicológicas

La contaminación del aire que respiramos, no solamente afecta las vías respiratorias, las mucosas, la piel y la circulación sanguínea, sino también las funciones síquicas del individuo, su estado de ánimo y su calidad de vida. Con esto en mente, decidimos incluir variables del espectro neurosicológico para el presente estudio, alentados por la importancia que tiene la salud mental para el disfrute de la vida y concientes de la necesidad que tiene este campo de conocimiento por ser explorado con detenimiento, dada la escasez de precedentes en este sentido.

Variables como: nerviosismo, angustia, tristeza, depresión, aburrimiento, rabia, desespero, irritabilidad, pesimismo, agotamiento y otras, fueron consideradas en la encuesta para explorar si en verdad ocurría alguna diferencia entre las personas que viven y trabajan en un ambiente contaminado citadino, en comparación con sus paisanos comparables en edad, sexo, educación, estrato socioeconómico y hábitos de tabaquismo, pero que residen y laboran en un entorno más limpio y provincial.

5. Variables sociodemográficas

Es lógico que todo estudio deba ir acompañado de una identificación suficiente de los sujetos que participan en un estudio. Para nuestro caso el nombre, la cédula y un código consecutivo de encuesta fueron suficientes.

Las variables de tiempo y lugar resultaban obligadas para identificar la ubicación espacial de los individuos y la vigencia de los datos.

Las variables de personas que nos resultaron más significativas fueron: Sexo, edad, nivel educativo, estrato socioeconómico, tiempo de permanencia en el lugar, hábitos de tabaquismo, etc. Estas variables son importantes para el control de potenciales variables de confusión y se utiliza para ofrecer el soporte necesario en la comparabilidad de los datos o en el ajuste si es necesario.

6. Otras variables

Para complementar los datos con información adicional de las personas, decidimos incluir también las variables básicas del estado nutricional de las personas, es decir, peso corporal, estatura, perímetro abdominal y perímetro del carpo. Estas mediciones corporales permiten hacer cálculos sobre peso ideal y sobrepeso para incluir en los análisis que requieran control adicional por estos aspectos.

7. Variables espirométricas

Para incluir indicadores objetivos de la función respiratoria resulta necesario realizar espirometrías completas, las cuales arrojan una serie amplia de cálculos y resultados numéricos:

- VC: Capacidad Vital Lenta. Volumen movilizado desde una inspiración máxima a una espiración máxima realizada lentamente.
- FVC: Capacidad Vital Forzada. Volumen máximo de aire espirado, con un esfuerzo máximo y lo más rápidamente posible, desde la posición de inspiración máxima.
- FEV1 o VEMS: Volumen espirado en el primer segundo de la maniobra de capacidad vital forzada.

- FEV1/FVC: Expresa la proporción de la FVC que se expulsa durante el primer segundo de la maniobra de capacidad vital forzada.
- FEV1/VC ó índice de Tiffeneau: Proporción de la VC que se expulsa durante le primer segundo de la maniobra de capacidad vital lenta.
- FEF 25-75%: Flujo espiratorio forzado, medido del 25 al 75 % de la FVC.

Para nuestro análisis tomamos en primera instancia los resultados de capacidad vital respiratoria (VC), volumen espiratorio forzado de 1 (VEF1) y el porcentaje de VEF1 o prueba de Tiffeneau.

8. Variables Médicas

Para explorar la eventual afectación de los indicadores cardiovasculares básicos, incluimos en la evaluación los datos de frecuencia cardiaca, presión arterial sistólica y presión arterial diastólica.

Estas variables aumentarán la certeza en el control de posibles variables de confusión y ofrecerán además información útil sobre la reacción funcional del sistema cardiovascular a la exposición crónica de contaminantes atmosféricos.

9. Percepción de la contaminación

Para explorar la percepción que la comunidad tiene de la contaminación habitual del aire que la circunda, se plantearon varios indicadores que podrían evidenciar la magnitud del problema.

La presencia de polvo en los objetos, la opacidad y el oscurecimiento de los vidrios, la suciedad en los cuellos, en las mangas de las camisas, en el suelo y en las paredes de las habitaciones, y en general la percepción del aire sucio, todas estas apreciaciones fueron consultadas en una escala de 10 opciones graduadas de menor a mayor.

10. Afectación por la contaminación

Qué tanto se afectan las personas por causa de la contaminación? Estas inquietudes se tratan de resolver planteando en la encuesta una opción de respuesta, graduando la intensidad en 6 grados desde el grado nulo (0) hasta el grado máximo (5), y definiendo también seis campos prioritarios: la salud, lo económico, lo mental, lo familiar, lo laboral y lo recreativo.

Con estas variables será posible, además de la intensidad de la afectación, explorar también el campo específico en el cual las personas se sienten más afectados y el campo en el que se afectan menos. De otro lado podemos establecer si esta percepción varía según el nivel de exposición a la contaminación atmosférica.

11. Fuentes de contaminación

Resulta interesante explorar la percepción que la gente tiene de las fuentes que contaminan el aire. A través de una escala de 6 niveles de intensidad se estudia la opinión de las personas en relación con diversas fuentes móviles y fijas tales como: motocicletas, automóviles particulares, camperos, buses, fábricas y construcciones.

Estos datos nos aportarán la identificación que las personas hacen de los agentes generadores de la contaminación, y será fundamental para la creación de conciencia ciudadana y para el diseño de programas educativos.

Bibliografía

1. Mueller W, Martorell R. Reliability and accuracy of measurement. Cap 6. p 83-86. En: Anthropometric standardization reference manual. Lohman T, Roche A, Martorell R, Ed. Champaing – Illinois, 1988.
2. Cummings S, Browner W, Hulley S. Concepción de la pregunta a investigar. Cap 2. p 13-19. En: Hulley S, Cummings S, Diseño de la investigación clínica: Un enfoque epidemiológico. Barcelona ,1993.
3. Hulley S, Cummings S. Precisión y exactitud: Planificación de las mediciones. Cap 4. p 35-46. En: Hulley S, Cummings S, Diseño de la investigación clínica: Un enfoque epidemiológico. Barcelona ,1993.
4. Cummings S, Strull W, Nevitt M, Hulley S. Cuestionarios: Planificación de las mediciones. Cap 5. p 47-58. En: Hulley S, Cummings S, Diseño de la investigación clínica: Un enfoque epidemiológico. Barcelona ,1993.
5. Rielgelman R, Hirsch R. Como estudiar un estudio y probar una prueba: lectura crítica de la literatura médica. Washington, OPS / OMS. Publicación científica 531, 1992. P 112-120.
6. Rothman K, Greenland S. Modern Epidemiology. Philadelphia: Lippincott-Raven Publishers, 1998, Cap. 1 (The emergence of modern epidemiology).

Anexo 4

Control de Calidad del dato en Salud

- **Control de calidad para datos de fuente primaria**

Para garantizar la calidad de los datos obtenidos a través de contacto directo con la comunidad se establecen controles a nivel del evaluador, a nivel del evaluado y a nivel de los instrumentos de medición.

Evaluadores

Solo la idoneidad y el buen entrenamiento de los evaluadores permiten la confianza para obtener mediciones válidas y precisas. En el presente estudio los evaluadores fueron escogidos entre profesionales del área de la salud, de la administración y de la ingeniería. Las pruebas médicas y de espirometrías fueron confiadas solamente a un evaluador con formación en medicina y con postgrados en salud ocupacional.

Se hicieron talleres para la estandarización de los evaluadores a través de un proceso de repetición supervisada de las mediciones y ensayos, y simulaciones reflexivas con todo el grupo de trabajo, para identificar las tomas más válidas de instrumentación y para corregir o eliminar las imprecisiones de la fase inicial de entrenamiento.

Evaluados

Las personas que respondieron al cuestionario y que participaron en las mediciones antropométricas, médicas y espiratorias, eran todas personas adultas, en pleno dominio de sus funciones físicas y mentales.

Después de una adecuada información sobre el respaldo institucional de la misión y establecida la confianza para una conversación amistosa y fructífera, se procede a explicar los aspectos básicos del cuestionario, hasta lograr un pleno consentimiento sobre su conveniencia y una adecuada comprensión de su contenido.

Las personas aparentemente en estado de enajenación, embriaguez, intoxicación o quienes por otras razones biológicas o mentales no se consideraran aptos para aportar respuestas confiables, eran restringidos para el estudio.

Instrumentos

El diseño, la aplicación y el manejo de la encuesta fue objeto de una esmerada interacción del equipo de trabajo con expertos en fisiología, epidemiología, estadística, ingeniería ambiental y con investigadores experimentados.

La encuesta evolucionó desde abordajes clásicos del campo clínico, hasta versiones más elaboradas para aplicación poblacional, mejorando la objetividad del instrumento, la capacidad discriminativa, el nivel de medición, la simplicidad, la legibilidad, la comprensión y la integralidad.

Se hicieron pruebas piloto para perfeccionar la configuración de los ítems y las variables de interés, y para probar la comprensión, los tiempos y la eficiencia del procedimiento.

En relación con las variables médicas se utilizaron fonendoscopios Littman y tensiómetros Tycon de buena calidad, en óptimas condiciones y con calibración original de la casa fabricante.

La espirometría fue realizada con un Espiroanalyzer ST 95, con opciones para registros parciales o integrales. Optamos por el registro completo de los valores espirométricos y con la técnica de ensayos precedentes a cada prueba para obtener la mejor estabilidad de los parámetros espiratorios. De todas las evaluaciones queda el registro impreso en original de los valores obtenidos por el individuo y se fotocopia para tener un respaldo físico de seguridad, además de la base de datos que se configura para un análisis versátil en diversos paquetes estadísticos y epidemiológicos: Excel, SPSS y Epi-Info.

Reproducibilidad

Para asegurar la confiabilidad de las mediciones se realiza en una submuestra pruebas repetidas, a fin de confirmar la concordancia de los datos categóricos. Para las pruebas con mediciones de escala tales como antropometría, pruebas médicas y la espirometría, se logran altos niveles de precisión numérica en la reproducibilidad de los datos.

Validez

Para asegurarnos de que realmente vamos a medir lo que se desea medir, se realizan discusiones entre expertos y revisión de la literatura mundial más reciente para definir si el enfoque debe ser clínico o epidemiológico, es decir, si debe buscarse la detección de cuadros mórbidos bien configurados, tipo enfermedad pulmonar distractora crónica (asma, bronquitis crónica, enfisema) o si es más procedente la evaluación objetiva de la función ventilatoria a través de espirometría para tener un espectro amplio de variaciones que permita hacer los cortes en el análisis que resulten más apropiados.

De otro lado, la afectación en la morbilidad sentida se centrará, no sobre nosologías específicas, sino sobre síntomas y signos respiratorios, además de las variables neurosicológicas, pero medidas a un mayor nivel de finura para asegurar, además de la validez, mejores alcances en la precisión y en la objetividad de las respuestas.

Los análisis aportan elementos a la validez de concurrencia en la medida en que los resultados que se obtienen en nuestros estudios llegan a los mismos resultados que se obtienen con el mismo abordaje metodológico en otras latitudes del mundo y por científicos muy acreditados en el tema.

Aspectos muy importantes de la validez de constructo se obtienen en la elaboración de la encuesta y en la definición de las variables que se consideran más apropiadas para la detección de la afectación respiratoria, asegurándose de incluir integralmente todos los signos y síntomas que forman parte del cuadro clínico global.

- **Control de calidad para datos de fuente secundaria**

Registros en salud

Mortalidad

La muerte es un hecho de absoluta trascendencia en la vida de un ser humano, significa su finalización total y definitiva. En las comunidades que viven en cercanía dentro de las áreas urbanas el hecho es inocultable. El deceso de una persona en un vecindario es un hecho que no pasa desapercibido y por tal razón queda registrado en la memoria social y en los documentos oficiales.

Las normas de inhumación de una persona en la sociedad organizada reclama que la muerte sea certificada!. Tal certificación debe ser emitida por un funcionario idóneo, responsable y debidamente capacitado. Esta misión en nuestro medio se le confiere a los médicos, quienes además de otorgarle veracidad al hecho vital, también esclarecen la causa de la muerte, lo cual debe quedar consignado en la certificación avalada con firma y código de registro profesional.

Los certificados de defunción son documentados de gran respetabilidad y seriedad, por lo cual se remiten a los registros notariales y al Departamento Nacional de Estadísticas (DANE) para su debida radicación en las bases de datos y posteriormente se conducirán en reportes consolidados a las autoridades sanitarias de los entes territoriales.

En resumen, los datos de mortalidad entre los registros de salud, se constituyen en una de las fuentes más confiables de los hechos vitales en las personas que conviven en un entorno urbano bien organizado.

Bases de datos

El manejo de los datos requiere de manos expertas, por lo cual la Facultad Nacional de Salud Pública ha estructurado y servido para el país el programa más acreditado en sistemas de información en salud. El compromiso académico que la facultad tiene con la formación de profesionales y con especialistas, maestros y doctores le condiciona a mantener un alto rigor en el manejo de todos los indicadores de salud.

Para el presente estudio construimos la base de mortalidad por todas las causas para el Área Metropolitana durante los últimos 25 años. También abrimos la opción de comprar los datos de mortalidad por causas específicas para las áreas de interés y en contraposición con áreas de referencia para baja contaminación ambiental como los municipios del oriente antioqueño y para contrastes con otras ciudades capitales y con el referente nacional.

El período de interés en la mortalidad por todas las causas comprende la transición del Sistema Internacional de Enfermedades de su versión novena a la versión décima, lo cual requería de una cuidadosa traducción de los códigos antiguos a los códigos nuevos, asunto que se discriminó con la participación integrada de médicos, estadísticos, epidemiólogos y expertos en sistemas de información.

Análisis

Para asegurar la fiabilidad de los resultados, se debe hacer un esmerado estudio de la variabilidad de los datos en cado una de las variables, a través de distribución de frecuencias, diagrama de caja y límites para detectar datos excéntricos y extremos, y los estadísticos de posición y dispersión convencionales.

Una vez realizada una constatación de la pertinencia y validez de los datos, se procede a construir cada uno de los indicadores epidemiológicos, conforme a los estándares clásicos de la literatura científica y técnica.

Los análisis comparativos y las pruebas de hipótesis se replican en Excel, SPSS Y Epi-info para constatar la concordancia de los resultados y cada uno de los resultados es discutido y reanalizado a profundidad por el grupo de investigadores.

La consigna es reportar solamente aquellos resultados sobre los cuales se ha desarrollado una exhaustiva revisión, con la conciencia de que las conclusiones que emanen del presente estudio, puedan reportarse en evidencia contundente y pueda resistir las miradas críticas de la comunidad científica y del personal técnico especializado.

La pretensión y misión irrenunciable de la Universidad en la interacción con la comunidad y con las instituciones públicas y privadas es la de aportar la evidencia científica con el rigor investigativo y académico que es la esencia de su quehacer, y con la convicción de que las autoridades ejecutivas y políticas de la sociedad necesitan soporte de conocimientos verídicos que les permitan tomar las decisiones que mejor conduzcan al bienestar y salud de la comunidad.

Bibliografía

1. Mueller W, Martorell R. Reliability and accuracy of measurement. Cap 6. p 83-86. En: Anthropometric standardization reference manual. Lohman T, Roche A, Martorell R, Ed. Champaing – Illinois, 1988.
2. Cummings S, Browner W, Hulley S. Concepción de la pregunta a investigar. Cap 2. p 13-19. En: Hulley S, Cummings S, Diseño de la investigación clínica: Un enfoque epidemiológico. Barcelona ,1993.
3. Hulley S, Cummings S. Precisión y exactitud: Planificación de las mediciones. Cap 4. p 35-46. En: Hulley S, Cummings S, Diseño de la investigación clínica: Un enfoque epidemiológico. Barcelona ,1993.
4. Cummings S, Strull W, Nevitt M, Hulley S. Cuestionarios: Planificación de las mediciones. Cap 5. p 47-58. En: Hulley S, Cummings S, Diseño de la investigación clínica: Un enfoque epidemiológico. Barcelona ,1993.
5. Rielgelman R, Hirsch R. Como estudiar un estudio y probar una prueba: lectura crítica de la literatura médica. Washington, OPS / OMS. Publicación científica 531, 1992. P 112-120.
6. Rothman K, Greenland S. Modern Epidemiology. Philadelphia: Lippincott-Raven Publishers, 1998, Cap. 1 (The emergence of modern epidemiology).
7. Norman G, Streiner D. Bioestadística. Ed. Morby / Doyma libros. Madrid, 1996. 260 p.
8. Daniel W. Biostatistics: A foundation for análisis in the health sciences. Fourth edition. USA, 1987. 734 p.

Este documento hace parte del informe final del proyecto de investigación
Contaminación Atmosférica y Efectos en la Salud, realizado por el grupo de Epidemiología, línea de Prevención y Promoción de la Salud, y financiado por Municipio de Medellín, Municipio de Itagüí, Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Universidad de Antioquia.
Convenio interadministrativo 477/05.

El contenido académico es responsabilidad de los autores que lo suscriben y no compromete a las entidades participantes.