

**Prueba piloto para determinar la posible exposición a material particulado respirable en motociclistas de la zona centro de Medellín, 2013.**

**Ana María Ramírez Vélez**

**Universidad de Antioquia  
Facultad Nacional de Salud Pública  
“Héctor Abad Gómez”  
Medellín  
2013**

**Prueba piloto para determinar la posible exposición a material particulado respirable en motociclistas de la zona centro de Medellín, 2013.**

**Autor**

**Ana María Ramírez Vélez**

**Trabajo de Investigación para Optar al Título de Administrador en Salud:  
Gestión Sanitaria y Ambiental**

**Asesor**

**Juan Fernando Lenis Muñetón  
Profesor Cátedra F.N.S.P**

**Universidad de Antioquia  
Facultad Nacional de Salud Pública  
“Héctor Abad Gómez”  
Medellín  
2013**

## Tabla de contenido

Resumen .....	12
1 Introducción.....	13
2 Planteamiento del problema.....	14
2.1 Antecedentes.....	14
2.2 Descripción del problema .....	15
3 Justificación.....	18
4 Objetivos .....	19
4.1 Objetivo general.....	19
4.2 Objetivos específicos.....	19
5 Marco de referencia .....	20
5.1 Marco institucional .....	20
5.1.1 Generalidades del municipio de Medellín .....	20
5.1.2 Área Metropolitana del Valle de Aburrá .....	20
5.1.3 Secretaría de Movilidad municipio de Medellín .....	21
5.1.4 Contaminación atmosférica en el municipio de Medellín .....	22
6 Marco teórico .....	24
6.1.1 Contaminación atmosférica y principales contaminantes .....	24
6.1.2 Emisiones a la atmósfera .....	26
6.1.3 Material particulado y sus efectos en la salud humana .....	27
6.1.4 Equipos para el muestreo de material particulado a nivel ambiental .....	31
6.1.5 Equipos para muestreo de material particulado a nivel personal .....	35
6.1.6 Cuantificación material particulado respirable .....	37
6.1.7 Red de Vigilancia de la Calidad del Aire.....	38

6.2	Marco legal .....	41
6.2.1	Marco Jurídico .....	41
6.2.2	Marco Normativo .....	42
7	Metodología .....	45
7.1	Tipo de estudio .....	45
7.2	Población objeto .....	45
7.3	Tamaño de la muestra.....	45
7.3.1	Criterios de inclusión .....	45
7.3.2	Criterios de rechazo de muestras.....	45
7.4	Prueba inicial.....	46
7.5	Recolección de la información.....	46
7.6	Unidad de análisis .....	47
7.7	Variables.....	48
7.8	Análisis de la información .....	48
7.9	Consideraciones éticas.....	48
8	Resultados .....	50
8.1	Concentraciones de particulado respirable.....	50
8.2	Concentraciones de material particulado respirable y material particulado ambiental .....	52
8.2.1	Concentraciones material particulado ambiental $PM_{10}$ .....	52
8.2.2	Concentraciones material particulado ambiental $PM_{2.5}$ .....	53
8.2.3	Comparación tendencias material particulado respirable y material particulado ambiental $PM_{2.5}$ .....	54
9	Discusión.....	57
10	Conclusiones .....	59

11	Recomendaciones.....	60
12	Bibliografía.....	61
	Anexos .....	65

## Lista de tablas

Tabla 1. Principales sustancias emitidas a la atmósfera .....	26
Tabla 2. Distribución de estaciones y equipos Red Calidad del Aire del AMVA.....	39
Tabla 3. Marco Jurídico para la “Exposición a material particulado respirable en motociclistas del municipio de Medellín, 2013” .....	41
Tabla 4. Variables de estudio .....	48
Tabla 5. Medidas estadísticas de material particulado respirable .....	51
Tabla 7. Medidas estadísticas concentraciones de material particulado ambiental PM <sub>10</sub> .....	53
Tabla 8. Medidas estadísticas concentraciones de material particulado ambiental PM <sub>2.5</sub> .....	54
Tabla 9. Comparativo concentraciones material particulado personal y material particulado ambiental PM <sub>2.5</sub> .....	55

## Lista de gráficas

Gráfica 1. Parque automotor circulante AMVA.....	22
Gráfica 2. Concentraciones material particulado respirable .....	50
Gráfica 3. Promedio concentraciones material particulado respirable por día de la semana .....	51
Gráfica 4. Concentraciones material particulado ambiental PM10 reportada por la estación Éxito de San Antonio en enero de 2013.....	53
Gráfica 5. Concentraciones material particulado ambiental PM <sub>2.5</sub> reportados por la estación Museo de Antioquia en enero de 2013 .....	54
Gráfica 6. Relación material particulado personal y material particulado ambiental PM <sub>2.5</sub> promedio tiempo de muestra .....	55
Gráfica 7. Concentraciones de material particulado personal y PM <sub>2.5</sub> 24 horas, por día de la semana.....	56

## Lista de figuras

Figura 1. Aparato respiratorio humano.....	29
Figura 2. Descripción de un muestreador PST.....	32
Figura 3. Descripción de un muestreador PM <sub>10</sub> .....	33
Figura 4. Descripción de un muestreador automático BAM 1020 .....	35
Figura 5. Ciclón de aluminio para polvo respirable.....	36
Figura 6. Bomba de monitoreo personal .....	37
Figura 7. Ubicación estaciones de monitoreo REDAIRE.....	52
Figura 8. Motociclista con tren de muestreo instalado. ....	69
Figura 9. Proceso de desecado y pesaje de filtros.....	69

## **Lista de anexos**

Anexo 1. Certificado medidor de gas seco .....	65
Anexo 2. Certificado balanza analítica .....	66
Anexo 3. Resultados laboratorio .....	67
Anexo 4. Formato de campo .....	68
Anexo 5. Registro fotográfico .....	69

## Glosario y siglas

**ACGIH:** American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales.

**AIHA:** American Industrial Hygiene Association

**BEL'S:** Biological Exposure Limits. Límites de exposición biológica.

**Bomba:** Equipo para el muestreo personal o ambiental y cuyo caudal de muestreo se calibra en un margen específico para cada contaminante.

**CONPES:** Consejo Nacional de Política Social y Económica

**Contaminación:** Es la alteración nociva del estado natural de un medio como consecuencia de la introducción de un agente ajeno a éste.

**Contaminante:** Cualquier sustancia tóxica presente en el aire y que es capaz de generar daño a la salud.

**ECOPETROL:** Es la primera compañía de petróleo de Colombia vinculada al Ministerio de Minas y Energía

**Emisión:** Es todo aquel material, sustancia o forma de energía que se descarga al ambiente como resultado de una actividad de carácter natural o antrópico.

**EPA:** Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

**Filtro:** Elemento de membrana con un tamaño de poro determinado por el que se hace pasar el aire para retener el contaminante.

**Fuente móvil:** Es la fuente de emisión que por razón de su uso o propósito, es susceptible de desplazarse, como los automotores o vehículos de transporte a motor de cualquier naturaleza.

**GCA:** Guías de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud.

**Material particulado:** Sustancias en estado sólido o líquido, -excepto agua no combinada-, dispersas en un gas, con tamaños mayores que el de las moléculas pero menores de 500 ( $\mu\text{m}$ ).

**Metroplús:** Es un sistema integrado de transporte masivo de mediana capacidad de la ciudad de Medellín, integrado al sistema general de Metro.

**Metrocable:** Es un sistema de cable aéreo para transporte masivo de la ciudad de Medellín, integrado al sistema de metro de la ciudad.

**NIOSH:** National Institute for Occupational Safety and Health - Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional.

**OMS:** Organización Mundial de la Salud.

**OPS:** Organización Panamericana de la Salud.

**Orografía:** Es la parte de la geografía física que se dedica a la descripción de montañas. A través de sus representaciones cartográficas (mapas), es posible visualizar y estudiar el relieve de una región.

**PVC:** Poly Vinil Chloride – polivinilcloruro.

**REDAIRE:** Red de Vigilancia de la Calidad del Aire.

## Resumen

La contaminación del aire se caracteriza por la concentración de gases, partículas y vapores presentes en la atmósfera, entre los cuales se encuentra el material particulado. Éste es una compleja mezcla de partículas suspendidas en el aire que varían en tamaño y composición dependiendo de sus fuentes de emisión. **Objetivo:** Realizar una prueba piloto para determinar la exposición a material particulado respirable mediante monitoreos personales de motociclistas de la zona centro del municipio de Medellín durante el año 2013. **Metodología:** Se realizó la evaluación de material particulado respirable a una muestra de 20 motociclistas que ejecutan sus actividades laborales en la zona centro del municipio de Medellín, muestra elegida a conveniencia; el método de análisis fue el 0600 del Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos de América y a través de información secundaria suministrada por la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire, se realizó un análisis comparativo con las concentraciones de material particulado ambiental  $PM_{2.5}$ . **Resultados:** Los motociclistas presentan una exposición promedio a material particulado respirable de  $216 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para un periodo de 4.3 horas. Las concentraciones halladas sobrepasan la recomendación dada por la Guía para la Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud, la que estipula una concentración promedio de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para un período de 24 horas de exposición. **Conclusiones:** Los motociclistas que ejecutan sus actividades labores en este medio de transporte están expuestos al material particulado que se encuentra suspendido en el aire del centro de Medellín, con valores que superan lo recomendado por la OMS.

**Palabras clave:** Contaminación del aire, exposición a material particulado, motociclistas.

## 1 Introducción

La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera la contaminación atmosférica como una de las más importantes prioridades mundiales en salud. La contaminación del aire es actualmente uno de los problemas ambientales más severos a nivel mundial y en Colombia ha sido uno de los factores de mayor preocupación en los últimos años, debido a los impactos generados tanto en la salud como en el medio ambiente.

La contribución de las fuentes móviles a la contaminación atmosférica es una consecuencia del continuo crecimiento urbano, industrial y automotor que desde hace varios años se viene observando en las principales ciudades del país, lo cual puede estar originando un continuo deterioro de la calidad del aire que respiramos. Un ejemplo de esto ocurre en el Valle de Aburrá, el cual está conformado por diez municipios, donde las múltiples actividades industriales y de transporte que se realizan en la ciudad arrojan a la atmósfera cantidades de contaminantes que podrían estar afectando desfavorablemente la calidad del aire que respiran sus habitantes.

En los últimos años el aumento sin precedentes del uso de las motocicletas como alternativa para la movilización y el trabajo de miles de personas ha contribuido al crecimiento del parque automotor en el municipio de Medellín, generando a su vez un aumento en la emisión de contaminantes al aire que se respira; uno de los contaminantes críticos es el material particulado respirable, el cual tiene efectos adversos sobre la salud, dada la capacidad que este contaminante tiene para llegar hasta los alvéolos pulmonares.

Por tal motivo esta investigación determinó a través de una prueba piloto la exposición a material particulado respirable mediante monitoreos personales a motociclistas de la zona centro del municipio de Medellín, durante el año 2013, utilizando la metodología del Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos (NIOSH 0600). Ésta traerá beneficio tanto a los motociclistas que van a ser evaluados como en general a todas aquellas personas que utilizan este vehículo como medio de transporte, pues permitirá en caso de ser necesario ejecutar acciones que permitan disminuir el impacto que este contaminante puede generar en la salud de esta población, previniendo así daños y efectos negativos que a largo plazo pueden presentarse.

**Nota:** La información secundaria utilizada en este trabajo fue entregada por el Laboratorio CALAIRE de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Medellín, operadores de la Red de vigilancia de la Calidad del aire, previa autorización de la Subdirección Ambiental del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

## 2 Planteamiento del problema

### 2.1 Antecedentes

La contaminación del aire es un problema que afrontan muchas ciudades del mundo, se caracteriza por la concentración de gases, partículas y vapores presentes en la atmósfera; entre los más comunes están los óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono y material particulado. Estos contaminantes han sido incorporados directa e indirectamente al aire por fuentes naturales y/o antropogénicas, siendo éstas últimas emitidas en mayor medida por la industria y los vehículos automotores.<sup>1</sup>

De acuerdo al estudio desarrollado por la Organización Panamericana de la Salud (OPS), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental (SDE), sobre la “Evaluación de los Efectos de la Contaminación del Aire en la Salud de América Latina y el Caribe”<sup>1</sup>; se indica que en muchas ciudades de América Latina y el Caribe, la contaminación del aire se ha convertido en una de las principales preocupaciones de salud pública, donde la exposición a los diferentes tipos y concentraciones de contaminantes del aire, se ha relacionado con un aumento de riesgo de mortalidad y morbilidad debido a enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

La contaminación atmosférica en Colombia ha sido uno de los factores de mayor preocupación en los últimos años, por los impactos generados tanto en la salud como en el medio ambiente. La problemática atmosférica actual es la que genera los mayores costos sociales y ambientales después de los generados por la contaminación del agua y los desastres naturales.<sup>2</sup>

De acuerdo a lo expresado por el documento Conpes 3344 de 2005, la contaminación del aire en el país estaba causada principalmente por el uso de combustibles fósiles. El 41% del total de las emisiones atmosféricas son generadas en ocho ciudades, donde las mayores emisiones de material particulado menor a 10 micras (PM<sub>10</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y monóxido de carbono (CO), son debido a las fuentes móviles.<sup>3</sup>

Varias ciudades de América Latina reflejan que una parte importante de la población está expuesta a partículas y otros contaminantes del aire exterior; uno de estos grandes centros urbanos es Bogotá; donde según las cifras oficiales disponibles en la Secretaría Distrital de Movilidad circulan más de 1,2 millones de vehículos que sumado a la distribución de diesel de bajos estándares internacionales, producen un gran volumen de contaminantes atmosféricos primarios y secundarios, convirtiéndose en la principal fuente de emisiones atmosféricas (70%) respecto a las demás.<sup>3</sup>

De acuerdo al informe anual de calidad del aire de Bogotá para el año 2008 y 2009, realizado a partir de la información de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) de la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), dentro de las concentraciones promedio de contaminantes monitoreados por dicho organismo, el material particulado de diámetro menor a 10 micras ( $PM_{10}$ ), las partículas suspendidas totales (PST) y el ozono ( $O_3$ ), superan los límites máximos permisibles dados por la legislación ambiental nacional, así como los planteados por referentes internacionales de acuerdo a la Agencia de Protección Ambiental (EPA).<sup>3</sup>

Los municipios del Valle de Aburrá según un estudio realizado por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá en el año 2007, sobre la contaminación atmosférica y efectos sobre la salud de la población de Medellín y el área metropolitana, arrojó que la tasa de mortalidad por enfermedades respiratorias se ha incrementado en un 25% en comparación con otros municipios del Oriente Antioqueño, y el material particulado respirable se ha elevado 3,5 veces en los últimos años con un promedio de 70 microgramos por metro cúbico ( $\mu g/m^3$ ).<sup>4</sup>

El estudio desarrollado por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, evidencia también que en Medellín y el área metropolitana las personas con mayor exposición a la contaminación atmosférica tienen un incremento entre el 30 y el 45 por ciento en cuanto a molestias respiratorias, registrando una disminución en la capacidad respiratoria e incluso un aumento en las causas de muerte por enfermedades cardiovasculares y respiratorias.<sup>5</sup>

## **2.2 Descripción del problema**

La Organización Mundial de la Salud considera la contaminación atmosférica como una de las más importantes prioridades mundiales en salud. La contaminación del aire es actualmente uno de los problemas ambientales más severos a nivel mundial; está presente en todas las sociedades, independientemente del nivel de desarrollo socioeconómico, y constituye un fenómeno que tiene particular incidencia sobre la salud del ser humano. La creciente urbanización, el congestionamiento vehicular y los grandes costos de los medios de control han convertido en un problema crucial la contaminación del aire urbano.<sup>5</sup>

La contaminación atmosférica por partículas se constituye en uno de los problemas más serios en los países en desarrollo que en los desarrollados, dado su proceso de rápida industrialización y cambio del uso del suelo<sup>4</sup> y ha resultado ser responsable de diversos problemas ambientales y de generar efectos perjudiciales en la salud. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) entre el 1% y el 4% de la mortalidad de la población mundial se atribuye al material particulado (MP) suspendido en el aire.<sup>2</sup>

La contaminación atmosférica generada por fuentes móviles, cuyo principal generador es el parque automotor por ser fuente de ruido, gases y material

particulado<sup>6</sup>, es un serio problema que aqueja a los habitantes de distintos centros urbanos, debido a que estas se encuentran en constante movimiento y contacto con varios sectores de la misma.<sup>7</sup>

El problema de las emisiones de gases contaminantes por fuentes móviles a nivel mundial, ha contribuido a la degradación de la calidad del aire, al calentamiento global y al incremento de las enfermedades respiratorias, afectando la calidad de vida de las personas. En los principales centros urbanos de América Latina este problema ha alcanzado grandes dimensiones, debido al incremento descontrolado de la motorización y a los escasos mecanismos de control impuestos por los gobiernos.<sup>8</sup>

Las motocicletas son consideradas como fuentes móviles generadoras de gases contaminantes y material particulado; en los últimos años en todo el país se ha registrado un alto incremento en el uso de este tipo de vehículos, aumentando por ende las emisiones, lo que ha contribuido con el deterioro de la calidad del aire, con mayor efecto en el Valle de Aburrá, por sus características topográficas.<sup>9</sup> Según datos publicados por la Secretaría de Tránsito y Transporte del municipio de Medellín, para diciembre de 2011 se tenía un total de 487.600 motos matriculadas en el Área Metropolitana.

Los contaminantes críticos de Medellín son el material particulado y el ozono por que exceden la normatividad nacional y por su incidencia en el índice de calidad del aire.<sup>8</sup> Según la Resolución 610 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, el límite máximo permisible para material particulado menor a 10 micras (PM<sub>10</sub>) en condiciones de referencia es de 100 mg/m<sup>3</sup> para un tiempo de exposición de 24 horas.

La alta concentración de material particulado en el aire que se respira tiene efectos adversos sobre la salud, dada la capacidad que este contaminante tiene para llegar hasta los alvéolos pulmonares, e incluso traspasar la barrera alvéolo-capilar y de allí ingresar al torrente sanguíneo, produciendo efectos nocivos para la salud.<sup>10</sup>

Los motociclistas son uno de los tantos actores que están expuestos a diario al material particulado y no tienen ninguna medida de protección personal para evitar respirar este contaminante. Según, el doctor Carlos Sisul, presidente de la Sociedad Paraguaya de Alergia, Asma e Inmunología, en un artículo publicado por el ABC Digital, diario online de Paraguay, “los motociclistas están demasiado expuestos a respirar el aire contaminado y corren el riesgo de agravar su salud en cinco o diez años de exposición; a esto se suma la carga que ocasiona al sistema de salud por los costos altos de tratamiento”<sup>11</sup>.

De acuerdo a la bibliografía consultada en diferentes fuentes como internet, revistas, libros, trabajos de investigación, entre otros, se encontró que en el municipio de Medellín no se ha realizado ningún estudio relacionado con el nivel de material particulado respirable al que están expuestos los motociclistas, lo cual impide la ejecución de acciones encaminadas al cuidado de la salud de éstos.

Por lo anterior se propone responder a la pregunta ¿Cuál es la exposición a material particulado respirable en motociclistas de la zona centro del municipio de Medellín?, al estar involucrados en su quehacer diario a situaciones ambientales adversas, proveniente en su mayoría de fuentes móviles.

### **3 Justificación**

En los últimos años el aumento sin precedentes del uso de las motocicletas como alternativa para la movilización y el trabajo de miles de personas, según datos del informe “De calidad de vida de Medellín, 2010 – Movilidad vial y espacio público, municipio de Medellín”, se pasó de 337.477 a 487.600 motocicletas entre el año 2007 al 2011, lo que ha contribuido al crecimiento del parque automotor en el municipio; generando a su vez un aumento en la emisión de contaminantes al aire que respiramos y este problema se ve acrecentado debido a que la región presenta una orografía muy compleja en forma de valle, limitando la circulación del aire y haciendo que los contaminantes permanezcan por más tiempo en la atmósfera, ocasionando problemas de altas concentraciones en algunas horas del día.

Es de resaltar que el incremento en el uso de este tipo de vehículos obedece al problema de movilidad que hay en el país y las motos permiten un mejor y más rápido desplazamiento; sin embargo los motociclistas no cuentan con mecanismos ni elementos de protección personal que disminuya el riesgo a impactos negativos en su salud debido a la exposición a diversos contaminantes presentes en el aire que respiran.

La ejecución de este estudio permitió establecer cuál es la exposición a material particulado respirable en motociclistas del municipio de Medellín que desarrollaron sus actividades labores en este medio de transporte (moto), pues son quienes se han expuesto ocupacionalmente al material particulado que se encuentra suspendido en el aire, producto de diferentes fuentes de contaminación.

El beneficio de este proyecto no solo está dirigido a los motociclistas evaluados, sino en general a todas aquellas personas que utilizan este vehículo como medio de transporte. Permitiendo que las autoridades tomen acciones para disminuir el impacto que este contaminante puede generar en la salud de esta población, previniendo así daños y efectos negativos que a largo plazo pueden presentarse.

## **4 Objetivos**

### **4.1 Objetivo general**

Realizar una prueba piloto que muestre la posible exposición a material particulado respirable mediante monitoreos personales de motociclistas de la zona centro del municipio de Medellín durante el año 2013.

### **4.2 Objetivos específicos**

Evaluar la exposición de los motociclistas seleccionados a material particulado respirable de las muestras recolectadas, utilizando la metodología del Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos (NIOSH 0600).

Determinar la tendencia en las concentraciones de material particulado ambiental  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  reportadas por la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire y la exposición a material particulado respirable de los motociclistas de la zona centro de Medellín.

## **5 Marco de referencia**

### **5.1 Marco institucional**

#### **5.1.1 Generalidades del municipio de Medellín**

Medellín es la capital del departamento de Antioquia, se localiza en el noroccidente del país en el centro del Valle de Aburrá, sobre la Cordillera Central de los Andes

El municipio de Medellín es el segundo en importancia del país con 380 Km<sup>2</sup> y 2.600.000 habitantes, comprende área urbana y rural. El área urbana 105.02 Km<sup>2</sup> posee 6 zonas geográfico culturales en las cuales se hallan 16 comunas y cada comuna está dividida en barrios sumando en total 249.<sup>12</sup>

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.<sup>13</sup>

#### **5.1.2 Área Metropolitana del Valle de Aburrá**

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) 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. El AMVA cumple las funciones de:

- Planificar el territorio puesto bajo su jurisdicción.
- Ser autoridad ambiental en la zona urbana de los municipios que la conforman.
- Ser autoridad de transporte masivo y metropolitano.
- Ejecutar obras de interés metropolitano.<sup>14</sup>

Desde su creación en 1980 y su posterior constitución como autoridad ambiental, el AMVA 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.<sup>15</sup>

### **5.1.3 Secretaría de Movilidad municipio de Medellín**

El objeto de la Secretaría de Movilidad, dependencia del Área Básica del Municipio de Medellín, es: "Planificar, regular y controlar los aspectos relacionados con la actividad transportadora terrestre, la circulación peatonal y vehicular, de acuerdo con el modelo de desarrollo social y económico de la ciudad, brindando servicios que cubran las necesidades del usuario y fomentando la cultura de la seguridad vial y un medio ambiente sano".

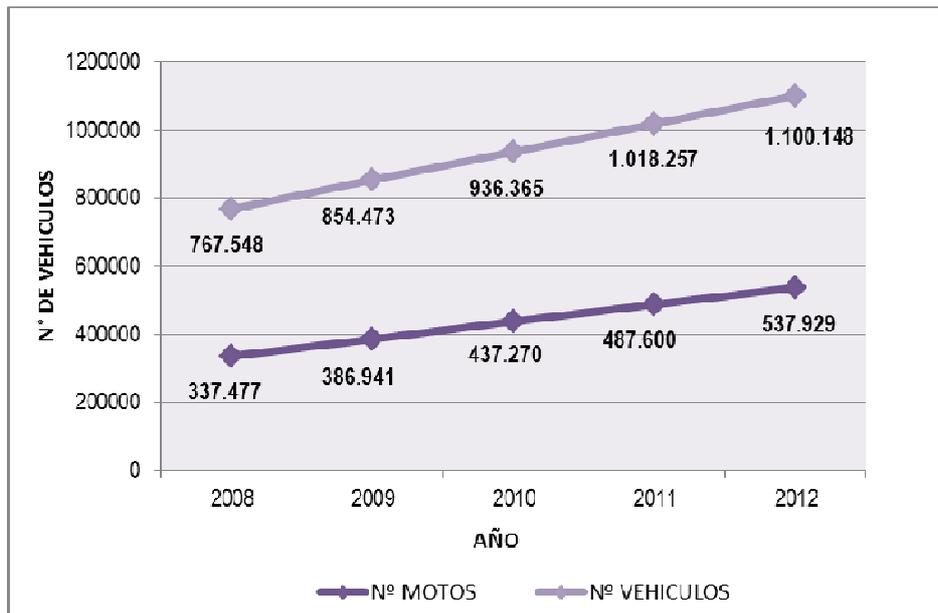
El Plan de Desarrollo 2012-2015 de la Secretaría de Movilidad de Medellín pretende "Mejorar las condiciones de seguridad vial de la ciudad de Medellín, a partir de la ejecución de estrategias orientadas a la prevención, comunicación, regulación, control, educación ciudadana para el comportamiento en la vía, mediante la implantación de sistemas inteligentes de tránsito y transporte complementado con una adecuada y eficiente señalización vial, optimización de la operación de la red de semáforos y aplicación de los resultados de estudios técnicos que determinen la viabilidad de la implementación de medidas de tránsito, que permitan el ordenamiento de la circulación de todos los actores de la vía: peatones, conductores pasajeros y medios de transporte; para una movilidad más segura.

Mejorar la funcionalidad del sistema integrado de transporte multimodal -metro, tranvía, metrocables, metroplús, buses, bicicletas públicas, servicios integrados y otros modos de transporte- a partir de intervenciones físicas, logísticas y de la reestructuración del transporte público colectivo, que hagan de éste un sistema eficiente, cómodo, seguro, económico, incluyente y sostenible, que se integre física, operacional y tarifariamente, de manera que permita incidir en mejorar la calidad de vida de la ciudadanía y en la movilidad de la ciudad."

#### **5.1.3.1 Población vehicular**

De acuerdo a información de la Secretaría de Movilidad, como población vehicular se tiene que para diciembre de 2012 en la Secretaría se tenía un total de 209.277 vehículos matriculados, de los cuales 26.238 son motos.

En cuanto al área metropolitana se tenía para 2012 un parque automotor circulante de 1.100.148 vehículos y de 537.929 motos, dicho parque automotor tuvo un mayor aumento en el año 2009 ya que tuvo incremento de 14.66% de vehículos y un 11.33% de motocicletas.



Gráfica 1. Parque automotor circulante AMVA

En el país el uso de motociclistas como medio de transporte y/o herramienta de trabajo ha incrementado de manera considerable y prueba de ello es que durante el 2011 se vendieron 430 mil motos y hasta septiembre de 2012 se habían vendido 508 mil. Según el presidente de ASOPARTES, Tulio Zuloaga, manifiesta que en el país circulan por las vías 4 millones 500 mil motos, frente a 4 millones 300 mil vehículos.<sup>16</sup>

#### 5.1.4 Contaminación atmosférica en el municipio de Medellín

El fenómeno de contaminación atmosférica en Medellín es heterogéneo en causas, en características y por supuesto en consecuencias. Las causas varían desde las emisiones generadas por las fuentes móviles, es decir vehículos de todo tipo; fuentes fijas que son todo el sector industrial y fuentes de otro tipo como las construcciones. Las fuentes móviles aportan cerca de un 66% de contaminación y las fuentes fijas un 30%.<sup>17</sup>

Los factores que inciden en la calidad del aire del municipio de Medellín son:

- Parque Automotor.
- Ineficiencia en el sistema de transporte (modos, organización, longitudes de viaje, cantidad de vehículos).
- Consumo de combustibles.
- Deterioro de la malla vial.
- Actividad industrial.

- Actividad de la construcción (explotación y beneficio de materiales, obras de construcción).
- Políticas de usos del suelo.
- Condiciones topográficas y atmosféricas.

De acuerdo a un artículo publicado el 27 de noviembre de 2012 por el diario El Colombiano, Medellín por ser la ciudad del Valle de Aburrá más industrializada, habitada y con mayor número de vehículos, aporta el mayor grado de contaminación en el área metropolitana, en especial en zonas como el Centro.

Sin embargo el área Metropolitana del Valle de Aburrá desarrolla una serie de estrategias por el mejoramiento de las condiciones ambientales en el Valle de Aburrá, entre las cuales se destacan:<sup>18</sup>

- Prácticas ambientales y aire limpio: busca mejorar las prácticas ambientales y reducir las emisiones atmosféricas producidas por vehículos. La estrategia le apunta a monitorear 26.450 vehículos, sensibilizar a 27.450 personas, capacitar a 500 y desarrollar investigaciones.
- Red de monitoreo de la calidad del aire: el Área Metropolitana implementó 21 estaciones de monitores de calidad del aire fijas y una móvil que, con diferentes medidores permite hacerle seguimiento al estado del aire.
- Transporte integrado: para el Área Metropolitana, las principales fuentes de contaminación del aire son las móviles, por eso con la implementación de un sistema de transporte integrado que involucre metro, Metroplús, Metrocable, tranvías y las rutas alimentadoras. Con esto se busca reducir el número de vehículos en circulación y así disminuir los impactos ambientales.
- Transporte sostenible: programas como el Sistema de Bicicletas Públicas, "EnCicla", que beneficia principalmente a la comunidad universitaria e incentiva el uso de transporte público no motorizado.
- Combustible más limpio: el mejoramiento, por parte de ECOPETROL, del combustible que se distribuye para la movilidad, cumpliendo el convenio celebrado con el Área Metropolitana.
- Acciones de autogestión: la idea del Área Metropolitana es que las medidas para mejorar la calidad del aire no solo sean desarrolladas por entidades ambientales, sino también por la ciudadanía. Por lo cual, realiza campañas de sensibilización en conducción eficiente, ahorro de combustible, mantenimiento preventivo, calibración de bombas de inyección y manejo de estrés.

## 6 Marco teórico

### 6.1.1 Contaminación atmosférica y principales contaminantes

La contaminación del aire se ha convertido en una de las principales preocupaciones de la salud pública en muchas ciudades de América Latina y el Caribe, donde las concentraciones de partículas y de otros contaminantes, exceden en algunos periodos, las normas nacionales de calidad del aire.

En las zonas urbanas, la exposición a los tipos y concentraciones de contaminantes, que frecuentemente se encuentran, se ha relacionado con un aumento del riesgo de mortalidad y morbilidad debido a una variedad de condiciones, incluidas las enfermedades respiratorias y cardiovasculares. De acuerdo con lo establecido en la normativa vigente para Colombia, la Contaminación atmosférica es la presencia de sustancias en la atmósfera, en altas concentraciones, en un tiempo determinado, como resultado de actividades humanas o procesos naturales, que pueden ocasionar daños a la salud de las personas o al ambiente.<sup>19</sup>

Normalmente, los productos contaminantes se encuentran mezclados en el aire y muchos reaccionan entre sí o con las otras sustancias presentes en la atmósfera, como el vapor de agua, y originan nuevos contaminantes. Así diferenciamos los contaminantes primarios que son los emitidos directamente por una fuente, como el monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>); y los contaminantes secundarios producto de reacciones posteriores como lo son el ozono (O<sub>3</sub>), hidrocarburos (HC), sulfatos (SO<sub>4</sub>) y nitratos (NO<sub>3</sub>). El tiempo que un contaminante permanece en el aire se conoce con el nombre de tiempo de residencia. Este tiempo es más o menos largo según el tipo de contaminante y el estado de la atmósfera.<sup>20</sup>

Entre los principales contaminantes atmosféricos se tiene:<sup>21</sup>

- **Ozono (O<sub>3</sub>):** Los principales efectos a la salud están asociados con el daño que ocasiona a las células en las vías respiratorias causando, entre otros problemas, inflamación y reducción de la capacidad del aparato respiratorio tanto para combatir infecciones como para remover las partículas externas, por lo que se incrementa la incidencia de infecciones respiratorias, tos, flemas, atrofia de la mucosa nasal, irritación de ojos, disminución de la función respiratoria y visitas de emergencia por ataques de asma.
- **Partículas en suspensión (menores a 10 y 2.5 µm):** Los elementos presentes en las partículas son carbono, hidrocarburos, material soluble en agua (como el sulfato de amonio), material insoluble que contiene pequeñas cantidades de hierro, plomo, manganeso y otros elementos, así como material biológico (polen, esporas vegetales, virus y bacterias).

Según su tamaño las partículas se dividen en *gruesas*, que incluyen a partículas con diámetro entre 2.5 y 10 micrómetros y *finas*, que tienen tamaños menores a 2.5 micrómetros. Las partículas gruesas, como las que generalmente se levantan del suelo, difícilmente penetran hasta los alveolos pulmonares pues, en su mayoría, son retenidas por las mucosas y cilios de la parte superior del aparato respiratorio. En contraste, partículas provenientes de las quemas agrícolas forestales, así como las generadas por la combustión de vehículos a gasolina y diesel son en su mayoría partículas finas que sí penetran hasta los alveolos pulmonares.

- **Monóxido de carbono (CO):** En la naturaleza se genera CO en la producción y degradación de la clorofila, mientras que su origen antropogénico se sitúa en las combustiones incompletas, por lo que es emitido casi en su totalidad (98%) por fuentes móviles. Dado que la afinidad de la hemoglobina por el CO es unas 250 veces mayor que por el oxígeno, el monóxido de carbono se combina con la hemoglobina en los glóbulos rojos de la sangre y forma carboxihemoglobina (COHb) que disminuye la capacidad de la sangre para transportar oxígeno, además de interferir en su liberación en los tejidos, por lo que produce hipoxia y alteraciones del funcionamiento celular en las neuronas, en las células del corazón y en las de otros músculos.
- **Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>):** Es un gas incoloro que en altas concentraciones puede ser detectado por su sabor y por su olor cáustico e irritante. Se disuelve con facilidad en el agua para formar ácido sulfuroso (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>), el cual se oxida lentamente y forma ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) con el oxígeno del aire. En altas concentraciones en individuos normales y más bajas en individuos asmáticos, puede producir broncoconstricción.
- **Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>):** Se deriva de los procesos de combustión, siendo ésta la fuente principal de su vertimiento a la atmósfera. Es un contaminante primario y juega un doble papel en materia ambiental, ya que se le reconoce efecto potencialmente dañino de manera directa, pero también es uno de los precursores del ozono.
- **Compuestos orgánicos volátiles (COV):** Estos compuestos son motivo de preocupación tanto por su papel como precursores de ozono y otros oxidantes, como por la alta toxicidad de algunos de ellos. Debido a su gran variedad, no se conocen completamente sus efectos, sin embargo, para algunos de ellos, como el benceno, se ha reconocido su papel cancerígeno. Cuando las personas se exponen por periodos largos a concentraciones altas de benceno pueden sufrir edemas y hemorragias bronquio-alveolares.

### 6.1.2 Emisiones a la atmósfera

Las emisiones atmosféricas pueden ser de varios tipos: partículas, gases, ruido, olores o corrientes a altas temperaturas.

Los gases son producidos principalmente por la combustión de materiales como el carbón, derivados del petróleo, la leña, el gas natural y residuos vegetales; por la degradación de la materia orgánica y por reacciones químicas originadas en procesos de transformación en el sector industrial. Las partículas son emitidas especialmente durante los procesos de transformación y combustión química, como resultado de la trituración y molienda de materiales sólidos.

Las emisiones a la atmósfera se pueden considerar en dos niveles de importancia, de acuerdo al efecto que éstas generan sobre el medio ambiente: a nivel local o regional y a nivel global o mundial. En el nivel local o regional se encuentran aquellas sustancias que afectan la salud de las personas, como lo son el material particulado y el monóxido de carbono a nivel global o regional aquellas sustancias que producen alteraciones en el ambiente global como lo son dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que incrementa el calentamiento global y el efecto invernadero, y los clorofurocarbonados que contribuyen a deterioro de la capa de ozono.<sup>22</sup>

Tabla 1. Principales sustancias emitidas a la atmósfera

Efecto	Nivel	Principales sustancias que lo generan					
Lluvia ácida	Regional – Global	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	---	---	---	---
Deterioro de la capa de ozono	Global	CFC	HCFC	---	---	---	---
Calentamiento global	Global	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	HFC	CF <sub>6</sub>	---
Alteraciones en la salud	Local	Partículas	CO	Hidrocarburos	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	Pb

Fuente: <https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/000001/cap13.pdf>

#### 6.1.2.1 Emisiones de fuentes móviles

Las emisiones de los vehículos automotores son el resultado de la evaporación del combustible. Los más comunes son la gasolina para vehículos livianos, diesel para los vehículos pesados; al igual que otros combustibles para vehículos livianos como etanol y metanol, además de gas natural comprimido.

Las emisiones de vehículos automotores están compuestas por un gran número de contaminantes que provienen de varios procesos descritos a continuación:<sup>23</sup>

**Emisiones por el tubo de escape:** el tubo de escape es la principal fuente de contaminación procedente de los vehículos ya que desde allí son emitidos el total de monóxidos de carbono y óxidos de nitrógeno y la mitad de los hidrocarburos que produce el vehículo. Las emisiones por el tubo de escape resultan de la combustión del combustible. Los contaminantes de interés en este tipo de emisiones son los compuestos orgánicos, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, MP, gases tóxicos del aire y las especies reductoras de visibilidad.

**Emisiones evaporativas:** los vehículos automotores registran una gran variedad de procesos de emisión evaporativa que se limitan a emisiones de Compuestos Orgánicos Totales, y que incluyen emisiones evaporativas del motor caliente, de operación, durante la recarga de combustible, en reposo y diurnas.

### **6.1.3 Material particulado y sus efectos en la salud humana**

La “partícula” es un término que se emplea para describir cualquier material sólido o líquido dividido finamente, que es dispersado y arrastrado por el aire. Las partículas provienen de procesos de combustión, actividades industriales o fuentes naturales; también pueden ser originadas como resultado de la oxidación de contaminantes gaseosos en la atmósfera y su reacción con vapor de agua.

La contaminación del aire por partículas requiere serias atenciones por los siguientes motivos:

- Muchas partículas penetran en el sistema respiratorio con mayor efectividad que los contaminantes gaseosos.
- Algunas partículas se comportan sinérgicamente y aumentan los efectos tóxicos de otros contaminantes.
- La contaminación por partículas reduce la visibilidad de la atmósfera.
- En la atmósfera se forman partículas a partir de algunos contaminantes gaseosos.<sup>24</sup>

De acuerdo con la EPA, el material particulado es una mezcla compuesta por partículas extremadamente pequeñas y gotas líquidas que se encuentran suspendidas en el aire. La característica más importante de estas partículas es su tamaño.<sup>25</sup> Las partículas de importancia en el control de la contaminación abarcan un amplio rango en tamaño, “desde el extremadamente pequeño como de 0.001 µm (micrómetro, 10<sup>-6</sup> m), a más de 1.000 micrómetros (1 mm)”<sup>26</sup>; siendo las partículas de tamaños que se encuentran entre los 0.01 y 10 µm, las más peligrosas para la salud ya que tienen la capacidad de penetrar al tracto respiratorio.

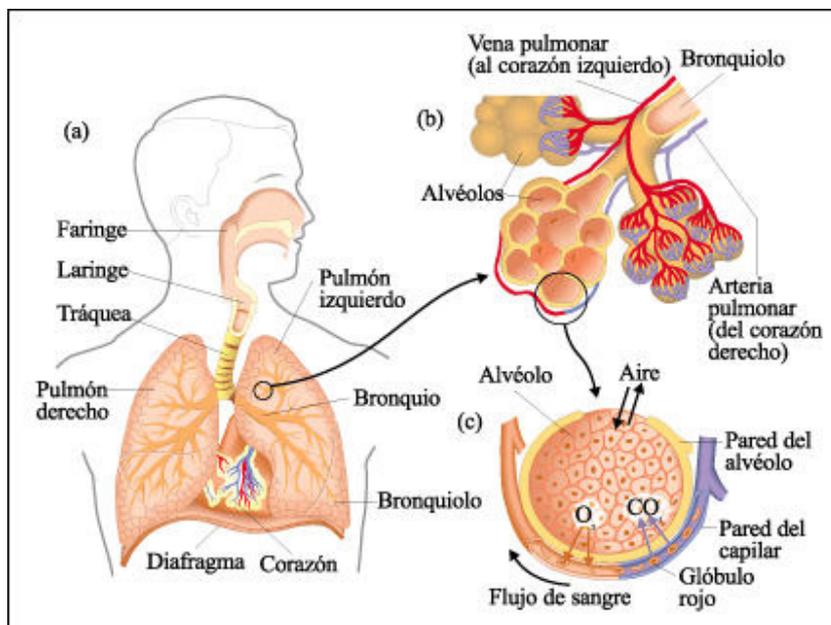
Las partículas respirables PM<sub>10</sub> son aquellas partículas gruesas en su mayoría, con pH básico producto de la combustión no controlada, algunas están relacionadas con la desintegración mecánica de la materia o la resuspensión de partículas en el ambiente.

Las partículas PM<sub>2.5</sub> agrupa a las partículas generalmente de pH ácido, que contienen hollín y otros derivados de las emisiones industriales y vehiculares, y corresponden a la fracción más pequeña y agresiva debido a que son 100% respirables.<sup>27</sup>

El material particulado inferior a 10 micrómetros, se queda en el tracto respiratorio, diferente al material particulado de 2,5 micrómetros el cual no se queda retenido en el tracto respiratorio sino que puede llegar hasta los pulmones e incluso al torrente sanguíneo; estas micro-partículas son las más peligrosas, ya que al llegar a los pulmones se incrustan en los alvéolos que son los que permiten el intercambio de gases en el cuerpo es decir son los que dan la entrada del oxígeno al cuerpo humano, al incrustarse impiden el estiramiento de los alvéolos causando fatiga en el individuo y el desgaste de los alvéolos.<sup>28</sup>

El aparato respiratorio está formado por diversas estructuras tales como: nariz, laringe, tráquea, bronquios, bronquiolos, alveolos y acinos pulmonares. Con respecto al depósito en las vías respiratorias y a la depuración de los aerosoles inhalados, se consideran tres grandes regiones: 1) extratorácica, correspondiente a las vías que van desde las narinas hasta la epiglotis y laringe; 2) traqueobronquial, desde la tráquea hasta los bronquiolos terminales; y 3) región pulmonar, que incluye el parénquima pulmonar, o sea los bronquiolos respiratorios, los conductos alveolares, los sacos alveolares y alveolos, es decir, la región del intercambio gaseoso.

El depósito de las partículas inhaladas en las vías respiratorias es un proceso complejo y depende tanto del patrón respiratorio como de las características físicas de las partículas inhaladas. Durante la ventilación nasal la mayor parte de las partículas con diámetro superior a 4 µm de diámetro se depositan en las vías respiratorias, mientras que durante la ventilación oral sólo se observa la impactación casi completa, solamente de partículas mayores de 10 µm. En ambos tipos de ventilación, las partículas de gran tamaño tienden a depositarse en la región superior de la tráquea. Sin embargo, 20 a 30% de las partículas entre 5 y 10 µm inhaladas durante la ventilación oral, se depositan más abajo en la tráquea y bronquios. La penetración más profunda de las partículas ocurre cuando las personas ventilan por la boca.<sup>29</sup>



Fuente: <http://bibliotecadeinvestigaciones.wordpress.com/biologia/sistemas-y-aparatos-del-cuerpo-humano/sistema-respiratorio/>

Figura 1. Aparato respiratorio humano.

Las pruebas relativas al material particulado suspendido en el aire y sus efectos en la salud pública coinciden en poner de manifiesto efectos adversos para la salud con las exposiciones que experimentan actualmente las poblaciones urbanas, tanto en los países desarrollados como en desarrollo. El abanico de los efectos en la salud es amplio, pero se producen en particular en los sistemas respiratorio y cardiovascular. Se ve afectada toda la población, pero la susceptibilidad a la contaminación puede variar con la salud o la edad. Se ha demostrado que el riesgo de diversos efectos aumenta con la exposición, y hay pocas pruebas que indiquen un umbral por debajo del cual no deba de prever efectos adversos en la salud.<sup>30</sup>

En términos generales tanto las partículas finas como las gruesas pueden acumularse en el sistema respiratorio y están asociadas con numerosos efectos negativos en la salud. Las partículas gruesas pueden agravar condiciones respiratorias como el asma, mientras que la exposición a material fino está asociada con varios efectos graves, incluyendo la muerte.

La Organización Mundial de la Salud ha insistido en que para este tipo de contaminantes no existe un valor bajo el cual es inofensivo para la salud humana y más bien la gravedad de los daños está relacionada con los tiempos de exposición que pueden ir desde un día hasta períodos mucho mayores. Algunos otros detalles sobre estos efectos se enuncian a continuación:

- Las personas que presentan enfermedades de los pulmones o el corazón, tales como asma, obstrucción pulmonar crónica, congestiones cardíacas o similares, expuestas a material particulado tienen un riesgo incremental de muerte prematura o de agravamiento de sus cuadros clínicos.
- Las personas de edad avanzada también son sensibles a la exposición a material particulado, igual que en el caso anterior, pueden presentar agravamiento de condiciones pulmonares o cardíacas preexistentes o a desarrollar este tipo de dolencias.
- Los niños o las personas con enfermedades pulmonares expuestas a PM pueden ver disminuida su capacidad de respirar profunda y vigorosamente y pueden experimentar síntomas como tos o agitación.
- El material particulado puede incrementar la susceptibilidad a las infecciones respiratorias y puede agravar enfermedades respiratorias existentes, tales como asma y bronquitis crónica, provocando mayores cuidados médicos.<sup>31</sup>

#### **6.1.3.1 Consideraciones de la OMS**

Se ha demostrado que el riesgo de diversos efectos aumenta con la exposición y hay pocas pruebas que indiquen un umbral por debajo del cual no puede generar efectos adversos en la salud. En realidad, el nivel más bajo de la gama de concentraciones para las cuales se han demostrado efectos adversos no es muy superior a la concentración de fondo, que para las partículas de menos de 2,5  $\mu$  (PM<sub>2.5</sub>) se ha estimado en 3-5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  tanto en los Estados Unidos como en Europa occidental. Las pruebas epidemiológicas ponen de manifiesto efectos adversos del MP tras exposiciones tanto breves como prolongadas.

Puesto que no se han identificado umbrales y dado que hay una variabilidad interespecífica sustancial en la exposición y en la respuesta a una exposición determinada, es poco probable que una norma o un valor guía ofrezca una protección completa a todas las personas frente a todos los posibles efectos adversos del material particulado en la salud. El proceso de fijación de normas debe orientarse más bien a alcanzar las concentraciones más bajas posibles teniendo en cuenta las limitaciones, la capacidad y las prioridades en materia de salud pública en el ámbito local.

Las Guías de calidad del aire (GCA) para el material particulado según la OMS son:

PM<sub>2.5</sub>: 10 µg/m<sup>3</sup>, media anual  
25 µg/m<sup>3</sup>, media de 24 horas

PM<sub>10</sub>: 20 µg/m<sup>3</sup>, media anual  
50 µg/m<sup>3</sup>, media de 24 horas

Como valor guía para el MP<sub>2.5</sub> en exposiciones prolongadas la OMS eligió una concentración anual media de 10 µg/m<sup>3</sup>. En el estudio de la Sociedad Americana del Cáncer (ACS) este valor representa el extremo inferior de la gama en la que se observaron efectos significativos en la supervivencia. La adopción de una guía en este nivel concede un valor importante a los estudios de exposición prolongada.<sup>32</sup>

### **6.1.3.2 Consideraciones Resolución 610 de 2010**

Las Resolución 610 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial modificó la Resolución 601 de 2006 de este Ministerio, la cual establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia. En el artículo dos (2) de la Resolución 610 se establecen los niveles máximos permisibles para contaminantes criterios, estableciendo para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> los siguientes valores:

PM<sub>2.5</sub>: 25 µg/m<sup>3</sup>, media anual  
50 µg/m<sup>3</sup>, media de 24 horas

PM<sub>10</sub>: 50 µg/m<sup>3</sup>, media anual  
100 µg/m<sup>3</sup>, media de 24 horas<sup>33</sup>

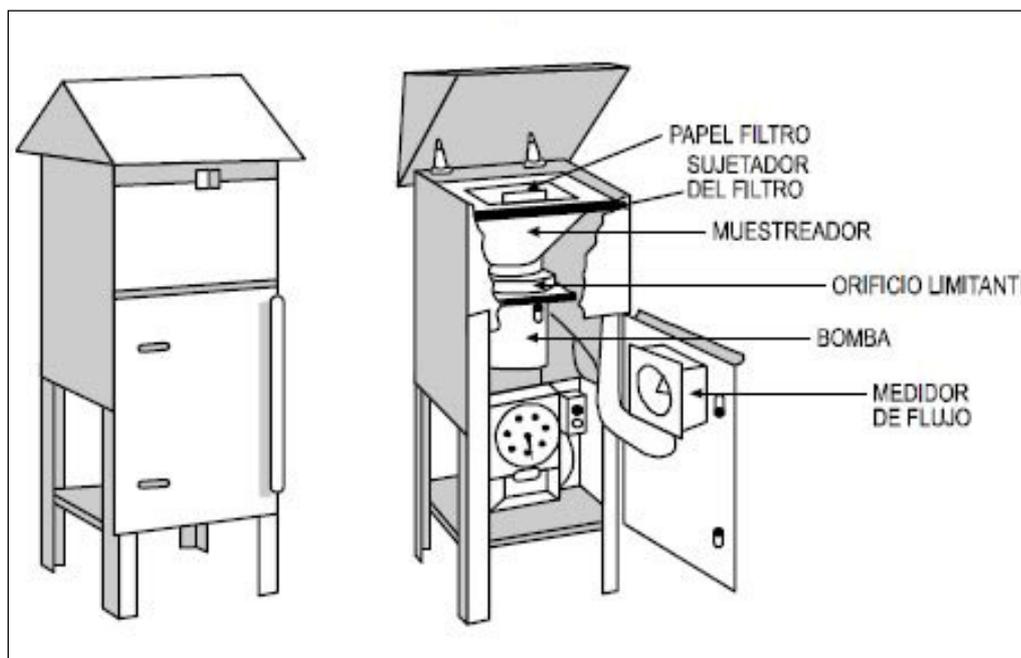
### **6.1.4 Equipos para el muestreo de material particulado a nivel ambiental**

#### **6.1.4.1 Equipos manuales**

El muestreo de las partículas suspendidas totales (PST) se realiza mediante un equipo denominado Hi-Vol o muestreador de alto volumen. El equipo básicamente es una bomba de succión, un portafiltros, un dispositivo de medición del flujo en general y un programador de tiempo de muestreo.

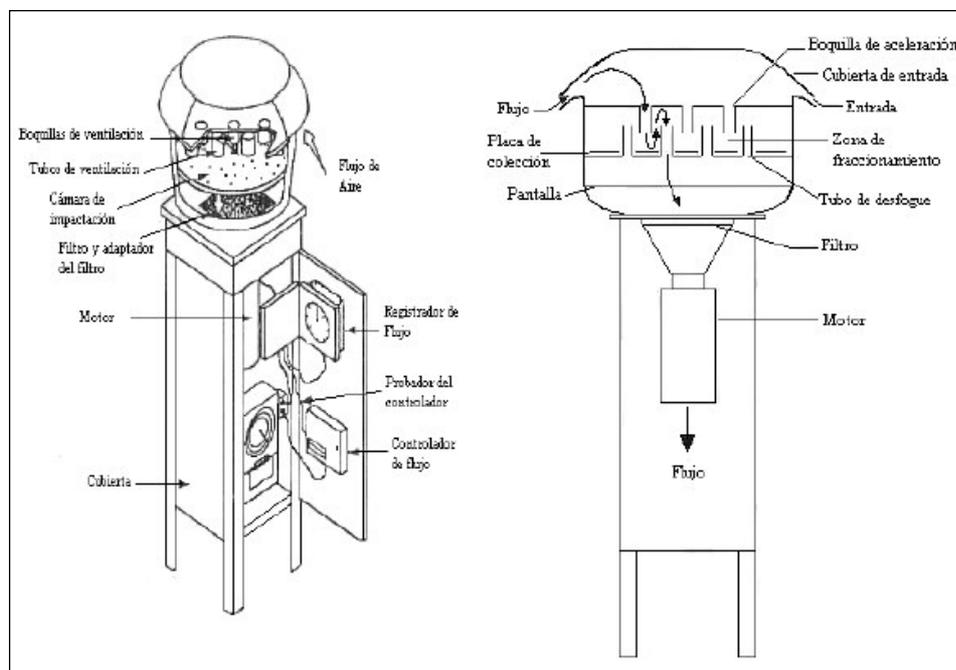
El Muestreo de PM<sub>10</sub> se realiza con un equipo de alto volumen al cual se le añade un impactador de cascada, diseñado de tal manera que las partículas menores a 10 micras son las pueden llegar a la superficie del filtro.

El periodo ordinario para el muestreo es de 24 horas. La concentración de material particulado se calcula por medio de la diferencia de pesos del filtro (a humedad constante) antes y después del muestreo y el total del flujo de aire.



Fuente: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=2884>

Figura 2. Descripción de un muestreador PST



Fuente: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=2884>

Figura 3. Descripción de un muestreador PM<sub>10</sub>

#### 6.1.4.2 Equipos automáticos

La información que genera este sistema de medición, permite evaluar el comportamiento de los contaminantes atmosféricos, tanto en el tiempo como en el espacio. Además, por la confiabilidad y oportunidad de los datos que genera, se emplea para definir políticas y estrategias de prevención y control de la contaminación, al igual que para evaluar la eficacia de los programas que se implanten.

Para el caso de material particulado se recomiendan los equipos tipo Beta Gauge (atenuación de radiación beta) o Tapered Element Oscillating Microbalance (microbalanza oscilante de elemento cónico).

El analizador Beta toma las partículas suspendidas en un filtro y calcula el peso de las partículas por absorción de rayos beta. El coeficiente de absorción depende únicamente de la fuente de rayos beta, no del tipo de material, tamaños o colores de las partículas.<sup>34</sup>

La Red de Vigilancia de la Calidad del Aire (REDAIRE) usa equipos automáticos para la medición de material particulado, específicamente el monitor de partículas BAM-1020.

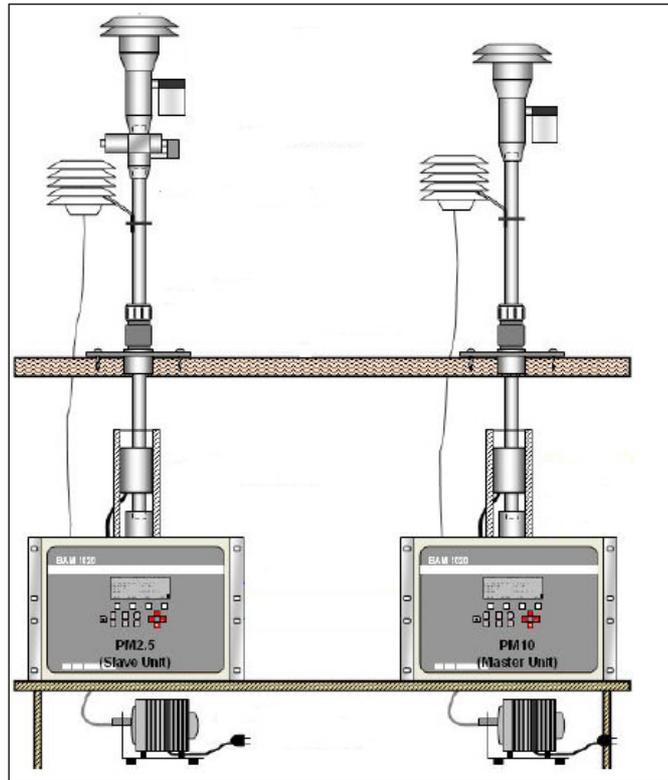
El Monitor de partículas BAM-1020 mide y registra automáticamente los niveles de concentración de partículas suspendidas en el aire de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, partículas gruesas (en miligramos o microgramos por metro cúbico) según el principio probado en la industria de atenuación de radiación Beta. Tiene muchos años designación US EPA como Método Federal Equivalente (FEM).

Denominaciones y Certificaciones:

- PM<sub>10</sub> (US-EPA EQPM-0698-115)
- PM<sub>2.5</sub> (US-EPA EQPM-0308-170)

Algunas de las especificaciones del BAM 1020 son las siguientes:

- Rango: 0-.1, .2, .25, .5, 1, 2, 5, 10 mg / m<sup>3</sup>
- Ciclo: 1 hora
- Resolución:  $\pm 2$  mg / m<sup>3</sup>
- Precisión:  $\pm 8\%$  de la indicación para el modo de hora 1,  $\pm 2\%$  con respecto al FRM para el modo de 24 horas.
- Fuente Beta: 14 C, 60 Ci
- Cinta del filtro: continuo Tipo de fibra de vidrio.
- Velocidad de flujo: 0-20 SLM ajustable por el usuario.



Fuente: <http://www.sunwayenvi.com/Ambient%20Particulate%20Matter.html>

Figura 4. Descripción de un muestreador automático BAM 1020

### 6.1.5 Equipos para muestreo de material particulado a nivel personal

“La evaluación de la exposición a los agentes químicos presentes en el aire en forma de partículas requiere considerar, además de su naturaleza, el tamaño de las partículas. La proporción de partículas presentes en el aire que penetran en el tracto respiratorio y el lugar de deposición dependen en primer lugar del tamaño de las partículas. Es decir, que la zona del tracto respiratorio en la que se producen los efectos adversos y en cierta medida los propios efectos dependen del tamaño de las partículas. Por esta razón los valores límite de exposición se definen para una determinada fracción de tamaño de partículas. Consecuentemente, los equipos que se utilicen para las tomas de muestra con el fin de evaluar la exposición a los agentes químicos, presentes en el aire en forma de partículas, deberían recoger la fracción de partículas de interés con relación a la definición del correspondiente valor límite”<sup>35</sup>

De acuerdo a lo anterior, es necesario para el muestreo de partículas, conocer que “el tracto respiratorio se divide en función de las características anatómicas y de depósito y eliminación de las partículas en tres regiones: vías aéreas superiores,

región traqueobronquial y región alveolar. Las características de los tejidos, los tiempos de residencia del aire, los mecanismos y la capacidad de separación de las partículas así como los mecanismos de eliminación son diferentes en cada región"; identificándose de esta manera, tres tipos de partículas a monitorear, Inhalables, Torácicas y Respirables.

Estos tres tipos de partículas, son definidas por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), la cual en el "año 1982 designó un comité ad-hoc sobre los procedimientos de muestreo de aire (ASP) con la tarea de elaborar recomendaciones para la toma de muestras de tamaño selectivo que daría lugar a un enfoque para el establecimiento de las partículas de tamaño selectivo TLV para material particulado.<sup>36</sup>

Algunos de los equipos utilizados para medir material particulado respirable son los siguientes:

- Ciclón de aluminio para polvo respirable: utiliza un filtro de 37 mm ó 25 mm en un soporte de tres cuerpos. Es ideal para el muestreo de partículas respirables bajo el método NIOSH 0600, con un punto de corte de 4 a 5µm, eliminando los efectos de la electrostática. La fracción respirable se recoge en el filtro y la no respirable es recogida en el capuchón inferior.



Fuente: <http://www.skcinco.com/prod/225-01-01.asp>

Figura 5. Ciclón de aluminio para polvo respirable.

- Bomba de monitoreo personal: Bomba con capacidad de muestreo de hasta 5 l/min, con batería recargable, las cuales son sometidas a verificación de la calibración, antes y después de cada monitoreo, mediante un calibrador de burbuja electrónico o un medidor de gas seco.



Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/casella-cel/bombas-de-muestreo-de-aire-31897-239398.html>

Figura 6. Bomba de monitoreo personal

### 6.1.6 Cuantificación material particulado respirable

Se realiza acorde al método 0600 del Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional (NIOSH), el cual define la metodología a seguir para la toma, análisis y cuantificación de material particulado respirable.

Para calcular la concentración de material particulado respirable,  $C$  ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), en el volumen de aire muestreado a condiciones de referencia, se emplea la siguiente relación:<sup>37</sup>

$$C = \frac{((W_2 - W_1) - (B_2 - B_1)) * 10^3}{V_{ref}}$$

Dónde:

$C$ : Concentración a condiciones de referencia,  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

$W_1$ : Peso inicial del filtro antes de muestreo, g.

$W_2$ : Peso final del filtro después de muestreo, g.

$B_1$ : Peso promedio inicial del filtro blanco, g.

$B_2$ : Peso promedio final del filtro blanco, g.

$V_{ref}$ : Volumen de referencia,  $\text{m}^3$ .

### **6.1.7 Red de Vigilancia de la Calidad del Aire**

La Red de Vigilancia de Calidad del Aire (Redaire) inició sus actividades de monitoria de la calidad del aire en el Valle de Aburrá 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 con énfasis en la utilización de los métodos manuales aceptados por la EPA y con una extensa labor de formación del personal técnico apropiado para asegurar la calidad de la monitoria de contaminantes.<sup>38</sup>

Actualmente, la Red de Vigilancia de Calidad del se encuentra operada por la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín y está conformada por un conjunto de estaciones que miden los principales contaminantes atmosféricos mediante equipos automáticos, semiautomáticos y manuales.

Redaire cumple con unas funciones básicas las cuales son:

- Operar y controlar la red de monitoria de calidad del aire urbano en el Valle de Aburrá.
- Desarrollar proyectos de investigación relacionados con la calidad del aire.
- Publicación de los Boletines informativos trimestrales con los resultados de la monitoria de calidad del aire y con los artículos seleccionados presentados por los investigadores sobre el tema de la calidad del aire.

En la siguiente tabla se pueden observar las estaciones que actualmente tiene la Red de vigilancia de la Calidad del Aire, su ubicación y el contaminante que monitorean en cada una de éstas.

Tabla 2. Distribución de estaciones y equipos Red Calidad del Aire del AMVA

MUNICIPIO	LUGAR DE UBICACIÓN	SIGLA DE LA ESTACIÓN	Equipos											
			PST (S)	PM1	PM10 (S)	PM10	PM2.5 (S)	PM2.5	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> -NO-NOX	CO	O <sub>3</sub>	MET	
BARBOSA	Hospital San Vicente de Paúl	BAR-HSVP												
GIRARDOTA	Colegio Colombia	GIR-IECO												
COPACABANA	Hospital Santa Margarita	COP-HSMA												
MEDELLÍN	Jardín Botánico, Ed Científico	MED-JABO												
MEDELLÍN	Ed Miguel de Aguinaga, Terraza	MED-AGUI												
MEDELLÍN	Parqueadero Museo Antioquia	MED-MANT												
MEDELLÍN	Éxito San Antonio, Terraza	MED-EXSA												
MEDELLÍN	Unal, Fac Minas, Portería Bloque M2	MED-UNFM												
MEDELLÍN	Corantioquia, Terraza	MED-CORA												
MEDELLÍN	Politécnico JIC Poblado	MED-PJIC												
ITAGÜÍ	Planta Tratamiento AR EPM	ITA-PTAR												
ITAGÜÍ	Casa de la Justicia, Barrio Santamaría	ITA-CJUS												
ITAGÜÍ	Colegio El Rosario, Terraza	ITA-CRSV												
ITAGÜÍ	Parque acuático Ditaires	ITA-DITA												
ESTRELLA	Alcaldía municipal	EST-CAM												
SABANETA	Alcaldía municipal, Terraza	SAB-CAM												
CALDAS	Plaza de mercado municipal, Terraza	CAL-PMER												
E MÓVIL	N/A	N/A												
TOTALES			2	1	10	6	1	5	1	4	2	4	8	

Fuente: Red de Vigilancia de la Calidad del Aire - REDAIRE

PST: Partículas suspendidas totales.  
 PM<sub>10</sub>: Partículas menores a (10) micras.  
 NO<sub>2</sub>: Bióxido De nitrógeno.  
 O<sub>3</sub>: Ozono.

PM<sub>1</sub>: Partículas menores a (1) una micra.  
 SO<sub>2</sub>: Bióxido de azufre.  
 CO: Monóxido de carbono.

La distribución geográfica de las estaciones de monitoreo, obedece al entendimiento del Valle de Aburrá como una cuenca atmosférica, en donde confluyen los fenómenos de formación, transformación y transporte de contaminantes y de manera generalizada, se identifican unos patrones de circulación de vientos. Los tipos de estaciones definidos en el estudio de optimización de la red, son los siguientes:

- Estación de fondo: entregar información sobre los niveles de contaminantes que están ingresando al Valle de Aburrá.
- Estación urbana: permite hacer seguimiento en aquellas áreas con emisiones vehiculares e industriales importantes, propias de los grandes núcleos urbanos.
- Estación de fondo urbano: dirigida al conocimiento de los niveles generales de calidad del aire, que no están influenciados de manera directa por las fuentes de emisión.
- Estación suburbana: entregar información sobre los niveles de contaminación en las laderas del valle, áreas que presentan una dinámica influenciada por las circulaciones del viento de origen local, provocadas por el calentamiento de las laderas.
- Estación indicativa: permite hacer seguimiento de los niveles de contaminantes en zonas que se presumen, en virtud del análisis de los datos realizado, dentro de los territorios a sotavento de las emisiones en el Valle de Aburrá.
- Estación de tráfico: estación de propósito especial para hacer seguimiento en áreas de influencia directa del tráfico vehicular.

Adicionalmente se utiliza la categoría de tendencia mesoescala, para aquellas estaciones ubicadas en zonas urbanas del valle a una altura superior a los 15 metros, que entregan información de los fenómenos de mezcla de los contaminantes y la tendencia de los datos de calidad del aire y meteorológicos.

El sitio de monitoreo localizado en el Museo de Antioquia (estación urbana), municipio de Medellín, se seleccionó con el objetivo de hacer seguimiento en áreas con gran concentración de emisiones vehiculares, por ser un sector donde confluyen rutas de servicio público colectivo intermunicipales y en general se identifica una actividad vehicular propia de los centros urbanos.

Las estación Éxito San Antonio (Tendencia Mesoescala) está ubicada en área urbana a una altura superior a los 15 metros sobre el nivel del suelo, que si bien no permite medir la exposición de la población, entrega información de los fenómenos de mezcla de los contaminantes y la tendencia de los datos de calidad del aire y meteorológicos.<sup>39</sup>

Ambas estaciones de monitoreo, operan equipos automáticos, los cuales trabajan a un caudal de 16.7 l/min.

## 6.2 Marco legal

A continuación se hará referencia al marco jurídico y normativo al cual está vinculada la ejecución de este proyecto, en el cual se identifican diferentes leyes, decretos, resoluciones, planes y programas que tiene mayor relación con la investigación.

### 6.2.1 Marco Jurídico

En la tabla que se presenta a continuación se hace referencia al marco jurídico aplicable a esta investigación.

Tabla 3. Marco Jurídico para la “Exposición a material particulado respirable en motociclistas del municipio de Medellín, 2013”

<b>Ley, Decreto, Resolución, Acuerdo</b>	<b>Fecha de expedición y entidad que expide la norma</b>	<b>Objeto del marco jurídico</b>	<b>Artículos de interés o capítulo</b>
Constitución Política de Colombia	Julio 4 de 1991 Asamblea Nacional Constituyente	Principal fuente de derecho en Colombia	Art. 79
Decreto-Ley 2811	Diciembre 18 de 1974	Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente	Art. 7, 8
Ley 9	Enero 24 de 1979 Congreso de la República de Colombia	Se dictan medidas sanitarias a nivel nacional.	Art. 80, 81
Ley 99	Diciembre 22 de 1993 Congreso de Colombia	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.	Art. 64 Numeral 4

<b>Ley, Decreto, Resolución, Acuerdo</b>	<b>Fecha de expedición y entidad que expide la norma</b>	<b>Objeto del marco jurídico</b>	<b>Artículos de interés o capítulo</b>
Decreto 948	Junio 5 de 1995 Ministerio del Medio Ambiente.	Reglamento de protección y control de la calidad del aire	Art. 1, 3, 6
Resolución 601	Abril 04 de 2006	Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia	Art. 4
Resolución 610	Marzo 24 de 2010 Ministro de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006, norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.	Art. 4

## 6.2.2 Marco Normativo

### 6.2.2.1 Plan Integral de Desarrollo Metropolitano – Metr poli 2008-2020: “Hacia la integración regional sostenible”

Según el Plan Metr poli 2008 – 2020 “Hacia la Integración Regional Sostenible”, del  rea Metropolitana del Valle de Aburrá, determina que “las consecuencias del modelo de desarrollo adoptado en Colombia para los grandes centros urbanos como el Valle de Aburrá, demuestran que la calidad de vida se incrementa en lo absoluto, nivel de ingresos y el acceso a bienes, pero empeora en lo relativo a la salud, por efecto de la contaminación del aire y el suelo, deteriorando la calidad ambiental. Cualquier acción que tienda a revertir esta tendencia que promueva el equilibrio en todas sus formas, que racionalice el uso de los recursos naturales y cree condiciones favorables para el bienestar y la salud humana tendría que entenderse como un asunto de carácter ambiental”.<sup>40</sup>

### **6.2.2.2 Plan de Descontaminación del Aire en la Región**

Es un instrumento de gestión ambiental que pretende investigar, calcular y demostrar los principales focos contaminantes que están afectando la calidad del aire del Valle de Aburrá.

El propósito fundamental de este plan es reducir las emisiones de las principales fuentes de contaminación, a través de la definición de medidas de control y reducción a corto, mediano y largo plazo, sobre la base de unas capacidades locales y con la perspectiva del fortalecimiento de los recursos humanos, técnicos y logísticos.

A partir del 2009, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá inició la formulación del Plan de Descontaminación del Aire en la Región, la cual incorpora un conjunto de estrategias y medidas concretas para la reducción de las emisiones provenientes de las principales fuentes de contaminación.

La definición de dichas estrategias requiere de la participación y el compromiso de autoridades gubernamentales, ambientales, de tránsito y transporte, de salud y educación; sectores industria y transporte, universidades, organizaciones no gubernamentales, comunidad y demás actores involucrados en la materia.

Las medidas de control que ejecuta el plan de descontaminación son:

- Control y seguimiento a emisiones generadas por fuentes móviles.
- Mejoramiento en la calidad del combustible.
- Pacto voluntario con los Centros de Diagnóstico Automotor (CDA).
- Programa de autogestión en el sector de transporte público colectivo.
- Producción más limpia volquetas.
- Producción más limpia en el sector de transporte de carga.
- Programa de autogestión en el sector motocicletas.
- Programa de construcción sostenible en el Valle de Aburrá.
- Transporte sostenible en el Valle de Aburrá.
- Administración del sistema metropolitano de información de la calidad del aire (SIMECA).<sup>41</sup>

### **6.2.2.3 Guías de la calidad del aire (GCA)**

Las GCA de la OMS tienen por objeto ofrecer orientación sobre la manera de reducir los efectos de la contaminación del aire en la salud. Estas guías se basan en la evaluación por expertos de las pruebas científicas del momento; están destinadas a su uso en todo el mundo, pero se han elaborado para respaldar medidas orientadas a conseguir una calidad del aire que proteja la salud pública en distintas situaciones. Por otra parte, cada país

establece normas de calidad del aire para proteger la salud pública de sus ciudadanos, por lo que son un componente importante de las políticas nacionales de gestión del riesgo y ambientales.

La nueva información incluida en esta última actualización de las Guías de calidad del aire, del año 2005 se refiere a cuatro contaminantes comunes del aire: material particulado (MP), ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). El ámbito de este examen pone de manifiesto la disponibilidad de nuevas pruebas sobre los efectos de los mencionados contaminantes en la salud y su importancia relativa con respecto a los efectos presentes y futuros de la contaminación del aire en la salud en cada una de las regiones de la OMS.<sup>42</sup>

## **7 Metodología**

### **7.1 Tipo de estudio**

Se realizó una prueba piloto de tipo exploratorio de corte transversal, la cual permitió determinar el nivel de exposición a material particulado respirable a 20 motociclistas del municipio de Medellín que ejecutan sus actividades laborales en este tipo de vehículo automotor.

### **7.2 Población objeto**

La población estudio comprende los motociclistas que ejecutan sus actividades laborales en este medio transporte y sólo realizan sus recorridos en la zona centro del municipio de Medellín.

### **7.3 Tamaño de la muestra**

Por tratarse de una prueba piloto, la muestra fue seleccionada a conveniencia, tomando 20 motociclistas.

Esta muestra fue seleccionada a conveniencia puesto que no se tenían los recursos económicos suficientes para la adquisición de insumos que permitiera tomar una muestra aleatoria más representativa del universo de los motociclistas que realizan sus actividades el centro de Medellín.

#### **7.3.1 Criterios de inclusión**

Se tuvo en cuenta los siguientes criterios de inclusión:

- Los motociclistas a los que se les instaló el equipo de muestreo ejecutaban sus actividades laborales sólo en la zona centro del municipio de Medellín.
- El motociclista al que se le instaló la bomba de monitoreo personal era quien conducía el vehículo automotor.
- El motociclista seleccionado para realizarle la medición no debía ser fumador.

#### **7.3.2 Criterios de rechazo de muestras**

Estos criterios se usaron con el fin de rechazar muestras en la cuales se observaran algunas de las siguientes desviaciones del método de muestreo:

- El día que se realizó muestreo estaba lloviendo.
- Muestreo con un tiempo inferior a 3 horas.

- El tren de muestreo (bomba-manguera-ciclón-filtro) no funcionó correctamente y se comprobó dicho caso.
- Se observó alguna alteración accidental o deliberada de los motociclistas a los cuales se les instaló el tren de muestreo.
- La diferencia entre pre-calibración y la post-calibración del flujo de muestreo fue superior al 5%.
- La cantidad de material particulado recolectada sobre el filtro de PVC fue superior a 2 mg, esto debido al rango de trabajo del método de análisis.

#### **7.4 Prueba inicial**

Se realizó una prueba inicial a 20 motociclistas que ejecutaban sus actividades laborales en diferentes zonas como lo son el Centro, Belén, Bello y Aranjuez; con el fin de observar y ajustar el método de medición.

#### **7.5 Recolección de la información**

Las muestras de material particulado respirable, se recolectaron de acuerdo al método 0600 del Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos de América (NIOSH), estas fueron analizadas gravimétricamente y brindaron los datos de la información para determinar la exposición a material particulado respirable.

La recolección de la información se llevó a cabo entre el 17 y el 30 de enero de 2013. A los motociclistas de las muestras se les diligenció un formato con sus datos personales, condiciones atmosféricas del día, rutas del día y estaciones de monitoreo cercanas a su recorrido; además cada motociclista firmó un consentimiento informado. Ver Anexo 4

Es de resaltar que sólo se realizaron evaluaciones a los motociclistas que estaban ejecutando sus actividades laborales en la zona centro del municipio de Medellín.

La información secundaria se obtuvo de los informes generados por la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire, operada por el Laboratorio CALAIRE de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín; de los días correspondientes a las evaluaciones de material particulado respirable realizadas y de las estaciones de Redaire que se encuentran ubicadas en el Éxito de San Antonio para PM<sub>10</sub> y en el Museo de Antioquia PM<sub>2.5</sub>. Es de resaltar que ambas estaciones tienen monitores automáticos BAM 1020, los cuales operan a un caudal de 16.7 l/min.

En cuanto a la estación Éxito de San Antonio, no se tendrá en cuenta sus datos para ser utilizados en el análisis de tendencia, porque es una estación de categoría mesoescala ya que se encuentra ubicada en la zona urbana a una altura de 15 metros, lo cual no permite medir la exposición de la población que por allí transita.

Para la recolección de las muestras de material particulado respirable, se siguieron los siguientes pasos:

- Preparación tren de muestreo, el cual incluye cargar las bombas de monitoreo personal, desecado de filtros de PVC y realizar pesaje inicial. El desecado de los filtros se realizó en un desecador eléctrico durante 24 horas y el proceso de pesaje se realizó haciendo una verificación inicial de la balanza analítica digital con la masa patrón de 5 gramos (g), se realizan 3 pesajes de cada filtro y se calcula el promedio.
- Realizar pre-calibración (Caudal 1): Ésta se realizó utilizando un calibrador de gas seco, en este proceso se configura la bomba con el caudal recomendado por el método NIOHS 0600 que es de 2.2 l/min; se toman tres registros y se calcula el promedio.
- Toma de muestra: La cual consistió en colocar la bomba de monitoreo personal en la parte posterior de la cintura del motociclista asegurando la manguera que conecta la bomba con el conjunto ciclón - cassette, con la espalda y el hombro del motociclista,; de tal forma que el extremo del ciclón quedará a la altura de la clavícula de la persona. Finalmente, se ponía en funcionamiento y se iniciaba la captación de la muestra.
- Realizar post-calibración (Caudal 2): Se realiza el mismo proceso de la pre-calibración y se realiza la diferencia entre el promedio final y el inicial, éste no debe ser superior al 5%.
- Realizar desecado y pesaje final de los filtros.
- Estimar concentración de la muestra: Ésta concentración se estimó usando fórmula que se encuentra en el numeral 6.1.6 “Cuantificación material particulado respirable”.

El pesaje de los filtros se realizó a través de la ejecución de un análisis gravimétrico, utilizando una balanza analítica y el procedimiento de pesaje establecido por el área de Higiene Ambiental de Laboratorio de la Facultad Nacional de Salud Pública de la Universidad de Antioquia, el cual se encuentra validado.

La pre-calibración y post-calibración se realizó de acuerdo a los manuales de operación de las bombas de monitoreo personal, al medidor de gas seco utilizado y a instructivos internos del área de Higiene Ambiental de Laboratorio de la Facultad Nacional de Salud Pública de la Universidad de Antioquia.

## **7.6 Unidad de análisis**

La unidad de análisis corresponde a la cantidad de microgramos ( $\mu\text{g}$ ) de material particulado por metro cúbico ( $\text{m}^3$ ) de aire evaluado en cada una de las muestras

recolectadas, los cuales permitieron definir el grado de exposición de los motociclistas objeto de estudio.

## 7.7 Variables

Para alcanzar los objetivos del estudio se analizaron las variables que se encuentran descritas a continuación:

Tabla 4. Variables de estudio

<b>Variables</b>				
<b>Objetivo</b>	<b>Nombre</b>	<b>Naturaleza variable</b>	<b>Nivel de Medición</b>	<b>Forma de interrelacionarse</b>
Evaluar la exposición a material particulado respirable	Masa de material particulado recolectada	Cuantitativa	Continua	Dependiente
	Volumen de aire colectado	Cuantitativa	Continua	Dependiente
	Tiempo de monitoreo	Cuantitativa	Continua	Independiente
Determinar la asociación entre las concentraciones de material particulado ambiental y el nivel de exposición a material particulado respirable	Masa de material particulado ambiental recolectada	Cuantitativa	Continua	Dependiente
	Tiempo de monitoreo	Cuantitativa	Continua	Independiente
	Temperatura	Cuantitativa	Continua	Dependiente
	Presión atmosférica	Cuantitativa	Continua	Dependiente
	Humedad relativa	Cuantitativa	Continua	Dependiente

Es de resaltar que para este estudio no se tuvo en cuenta parámetros sociodemográficos ni laborales de los motociclistas evaluados.

## 7.8 Análisis de la información

La información fue procesada en el programa Microsoft Office Excel 2010, en el cual se realizaron promedios aritméticos, desviaciones estándar, coeficientes de variación y gráficos de línea 2D. El informe fue desarrollado en la en el programa Microsoft Office Word 2010.

## 7.9 Consideraciones éticas

En ejecución de los diferentes monitoreos se contó con la participación voluntaria de los motociclistas. Todas las evaluaciones se realizaron bajo el consentimiento informado de los involucrados en los monitoreos.

De acuerdo con el Artículo 11 de la Resolución 8430 de 1993, la investigación se clasificó como “Sin riesgo”, dado que no se realizaron intervenciones que modificaran variables biológicas, fisiológicas o sociales de los individuos que participaron en el estudio. La investigación no representa ningún riesgo para la población ni para el investigador, ni tampoco tiene incidencia negativa en el medio ambiente.

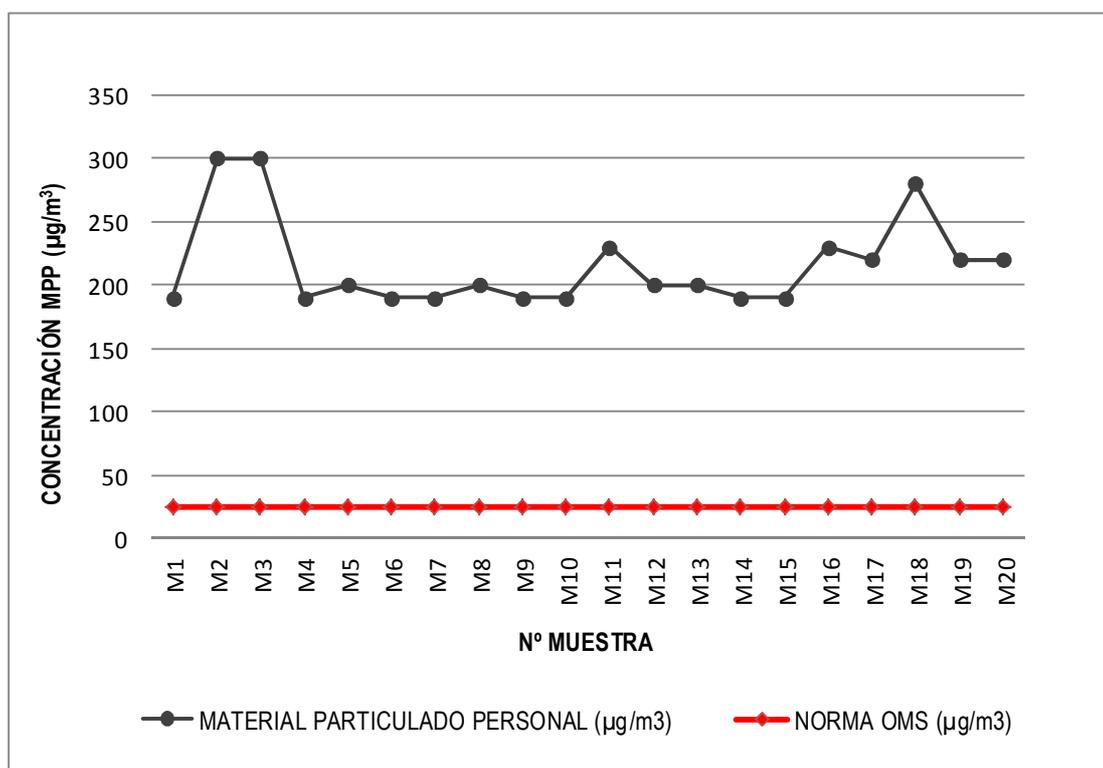
Aunque los resultados del estudio serán publicados, no se utilizarán los nombres de los motociclistas evaluados.

## 8 Resultados

### 8.1 Concentraciones de particulado respirable

Para la realización del estudio, se tuvo en cuenta motociclistas que desarrollan sus actividades laborales en la zona Centro del municipio de Medellín, esto debido a que la prueba piloto realizada en esta zona se presentan concentraciones de hasta  $380 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , lo cual puede ser ocasionado por el alto flujo vehicular y la poca dispersión de contaminantes, principalmente por barreras como son los edificios que allí se encuentran ubicados. Además se tuvo en cuenta todos los “Criterios de inclusión” y “Criterios de rechazo de muestra” descritos en los numerales 7.3.1 y 7.3.2, respectivamente.

En el Anexo 4 se presentan el registro formatos utilizados para la calibración y el trabajo de campo. A continuación se presenta el resultado de las evaluaciones:



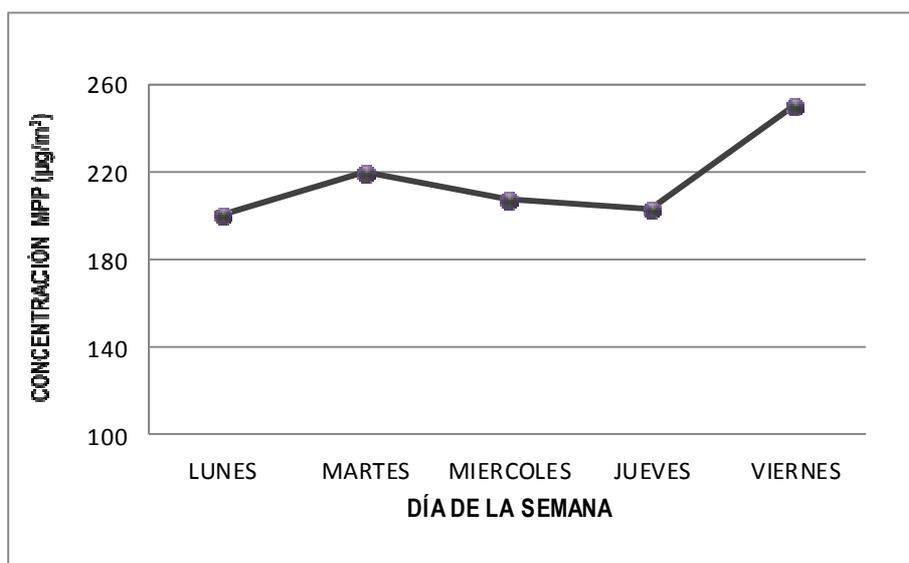
Gráfica 2. Concentraciones material particulado respirable

Tabla 5. Medidas estadísticas de material particulado respirable

Medida estadística	Valor
Concentración Promedio ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ )	216
Desviación Estándar ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ )	35,4
Coefficiente de Variación (%)	16,4

El 100% de las evaluaciones realizadas presentan concentraciones por encima de lo estipulado por la Guía de la Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud que corresponde a  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  media de 24 horas, superando hasta 25 veces la norma. Además la variación de las concentraciones es del 16,4% con respecto a la media aritmética que es del  $216 \mu\text{g} / \text{m}^3$ .

A continuación se presenta el comportamiento del material particulado según día de la semana, excluyendo sábados y domingos. Se puede observar como éste presenta un comportamiento similar todos los días evaluados; sin embargo reporta mayores concentraciones los días viernes, lo que puede deberse a que por ser último día de la semana se incrementa el flujo vehicular en el centro de Medellín.



Gráfica 3. Promedio concentraciones material particulado respirable por día de la semana

## 8.2 Concentraciones de material particulado respirable y material particulado ambiental

Para hallar la relación de las concentraciones de material particulado ambiental y material particulado respirable, REDAIRE proporcionó los datos de las estaciones de la red que se encuentran ubicadas en el Museo de Antioquia y en el Éxito de San Antonio, las cuales miden  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ , respectivamente. A continuación se puede observar la ubicación geográfica de estas estaciones:

- Éxito de San Antonio:  $6^{\circ}14'48.05'' - 75^{\circ}34'1.17''$
- Museo de Antioquia:  $6^{\circ}15'9.22'' - 75^{\circ}34'11.82''$



Figura 7. Ubicación estaciones de monitoreo REDAIRE

Para realizar este estudio solo se tuvo en cuenta los datos de la estación Museo de Antioquia, debido a que esta estación se encuentra ubicada en la zona centro del municipio y según estudio realizado por REDAIRE ésta es una zona de gran actividad vehicular, por lo cual es una estación de tipo urbana.

### 8.2.1 Concentraciones material particulado ambiental $PM_{10}$

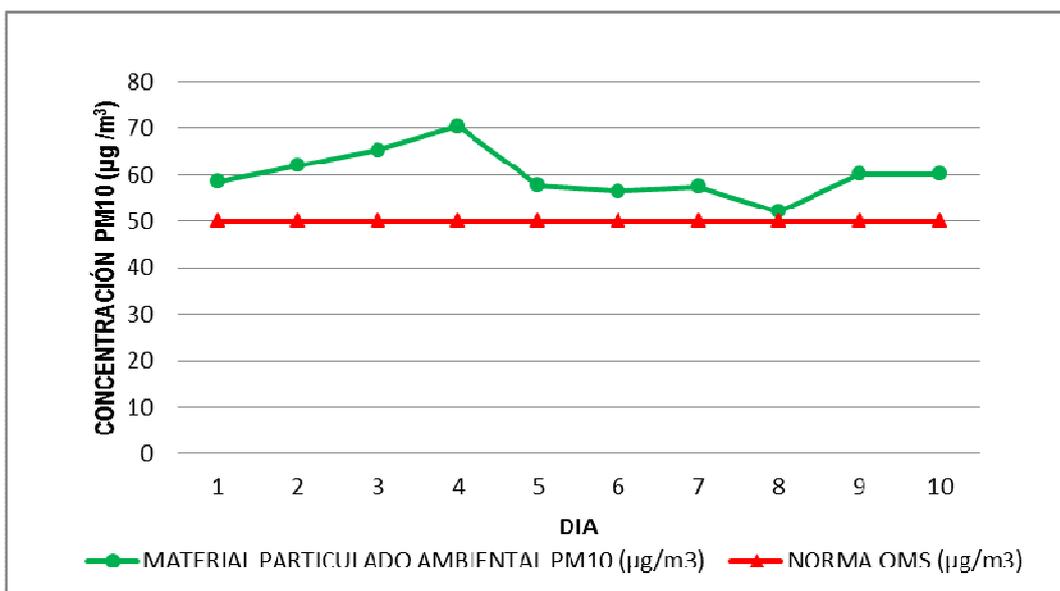
En los diez (10) días evaluados, el 100% de los datos diarios de material particulado ambiental  $PM_{10}$  reportados por la estación éxito de San Antonio, presentan

concentraciones se encuentran por encima de lo estipulado por la Guía de la Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud que corresponde a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  media de 24 horas para  $\text{PM}_{10}$ .

La variación de las concentraciones de material particulado ambiental  $\text{PM}_{10}$  es del 8,4% con respecto a la media aritmética que es del  $59,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Tabla 6. Medidas estadísticas concentraciones de material particulado ambiental  $\text{PM}_{10}$

Medida estadística	Valor
Concentración Promedio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	59,1
Desviación Estándar ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	5,0
Coefficiente de Variación (%)	8,4



Gráfica 4. Concentraciones material particulado ambiental  $\text{PM}_{10}$  reportada por la estación Éxito de San Antonio en enero de 2013.

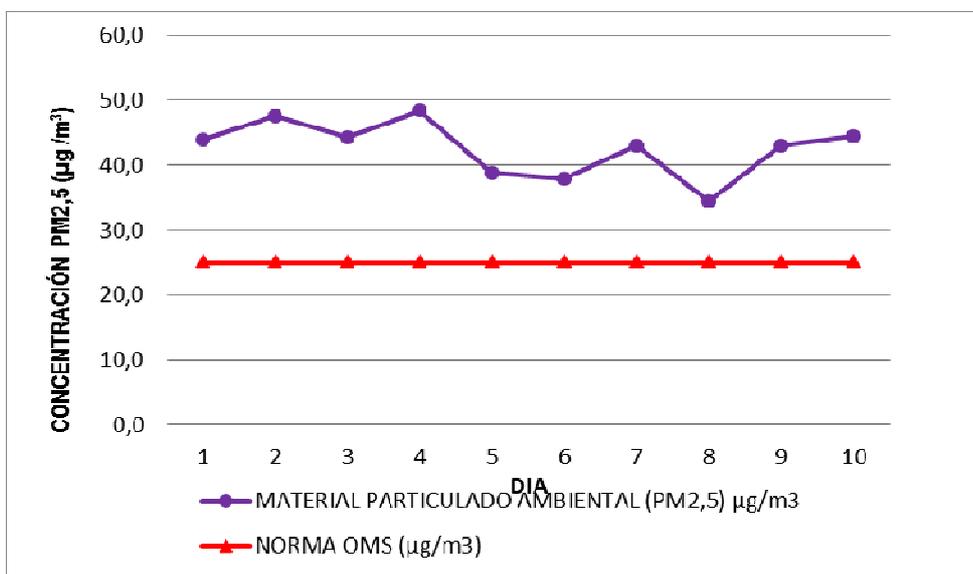
### 8.2.2 Concentraciones material particulado ambiental $\text{PM}_{2.5}$

De los datos reportados por la estación Museo de Antioquia durante los diez (10) días evaluados, se observa como el 100% de las concentraciones de material particulado ambiental diario de  $\text{PM}_{2.5}$  se encuentran por encima de lo estipulado por la Guía de la Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud que corresponde a  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$

media de 24 horas para PM<sub>2.5</sub>. Además la variación de las concentraciones es del 10,2% con respecto a la media aritmética que es del 42,6 µg /m<sup>3</sup>.

Tabla 7. Medidas estadísticas concentraciones de material particulado ambiental PM<sub>2.5</sub>

Medida estadística	Valor
Concentración Promedio (µg /m <sup>3</sup> )	42,6
Desviación Estándar (µg /m <sup>3</sup> )	4,4
Coefficiente de Variación (%)	10,2



Gráfica 5. Concentraciones material particulado ambiental PM<sub>2.5</sub> reportados por la estación Museo de Antioquia en enero de 2013

### 8.2.3 Comparación tendencias material particulado respirable y material particulado ambiental PM<sub>2.5</sub>

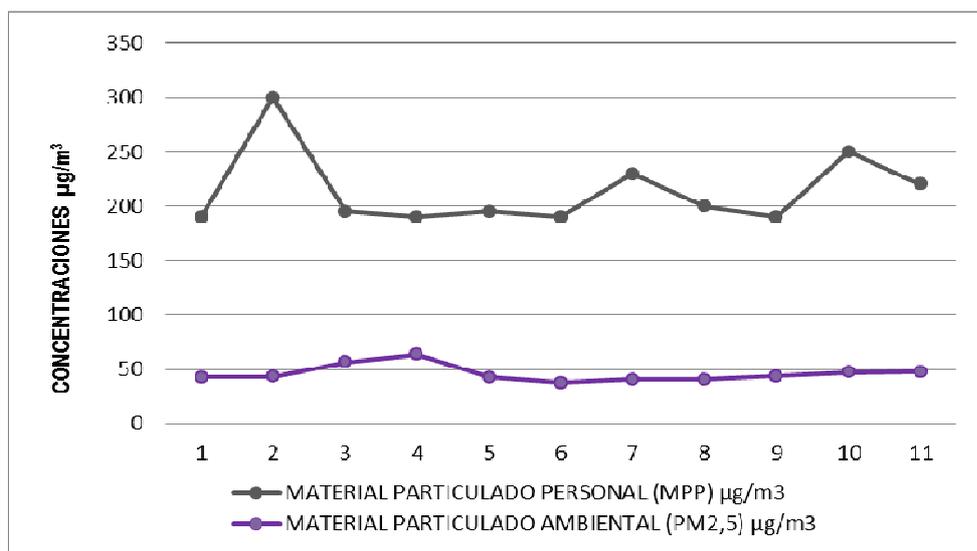
Las muestras recolectadas de material particulado respirable fueron comparadas con los promedios diarios de las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> reportadas por la estación Museo de Antioquia los días evaluados. Las concentraciones de las muestras de material particulado respirable que fueron tomadas el mismo día y horario se les cálculo la media aritmética con el fin de poder realizar una comparación con las concentraciones de material particulado ambiental PM<sub>2.5</sub> reportado en el mismo horario de toma de la muestra por REDAIRE.

Tabla 8. Comparativo concentraciones material particulado personal y material particulado ambiental PM<sub>2.5</sub>

Fecha	Hora	Material particulado personal (µg/m <sup>3</sup> )	Material particulado ambiental PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) promedio 24 horas	Material particulado ambiental PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) promedio tiempo muestra*
2013/01/17	09:00 - 14:00	190	43,9	42,7
2013/01/18	09:00 - 14:00	300	47,6	43,3
2013/01/21	09:00 - 14:00	195	44,3	56,5
2013/01/22	09:00 - 14:00	190	48,4	63,5
2013/01/23	09:00 - 14:00	195	38,8	42,7
2013/01/24	09:00 - 14:00	190	37,9	37,7
2013/01/24	14:00 - 18:00	230	37,9	40,6
2013/01/25	09:00 - 14:00	200	43,0	40,7
2013/01/28	09:00 - 14:00	190	34,4	43,7
2013/01/28	14:00 - 18:00	230	34,4	12,0**
2013/01/29	09:00 - 14:00	250	43,0	47,0
2013/01/30	09:00 - 14:00	220	44,5	47,5

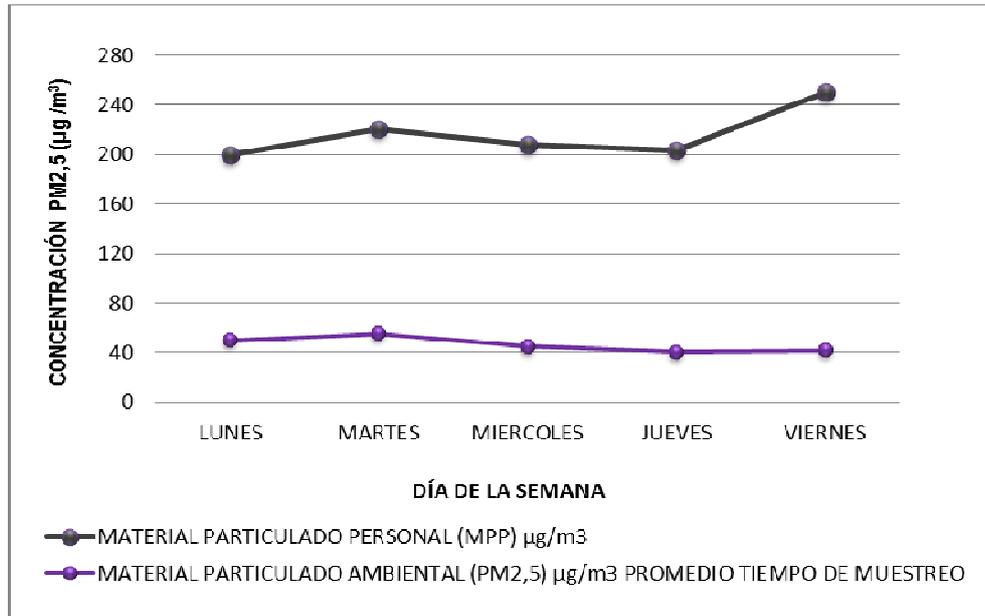
\*Promedio de material particulado reportado por REDAIRE, tiempo simultaneo a la toma de muestra de material particulado respirable.

\*\*Los datos reportados por REDAIRE presenta concentraciones atípicas, por lo cual se rechaza muestra para ser comparada.



Gráfica 6. Relación material particulado personal y material particulado ambiental PM<sub>2.5</sub> promedio tiempo de muestra

De los anteriores resultados se puede apreciar que no existe una tendencia similar en el comportamiento del material particulado personal y material particulado ambiental  $PM_{2.5}$ , lo cual puede deberse a que las muestras de material particulado personal fueron recolectadas al interior del Centro de Medellín, en medio de los vehículos automotores y donde la ubicación de altas estructuras hacen que no haya una dispersión de los contaminantes, además, los motociclistas reciben directamente el material particulado.



Gráfica 7. Concentraciones de material particulado personal y  $PM_{2.5}$  24 horas, por día de la semana

De los anteriores resultados, se puede resaltar como las concentraciones de material particulado personal y material particulado ambiental  $PM_{2.5}$ , presentan un comportamiento similar los días de la semana evaluados. Reportando mayores concentraciones los días lunes y martes para  $PM_{2.5}$  y los días viernes para el material particulado personal evaluado. En este último caso puede deberse a que el viernes por ser inicio del fin de semana y último día laboral, se incrementa el tráfico vehicular y el flujo de personas en la zona centro del municipio de Medellín.

## 9 Discusión

La concentración de material particulado puede verse afectado por el incremento en la velocidad de los vientos, por lo cual es de resaltar que en la zona centro del municipio de Medellín las concentraciones permanecen muy constante, debido a las barreras existentes, principalmente edificaciones que se encuentran allí ubicadas y que generan que haya poca dispersión del material particulado que se emite en esta zona.

La variación entre el promedio de material particulado personal y material particulado ambiental  $PM_{2.5}$ , es de aproximadamente 4.6 veces, lo cual puede deberse a que las muestras de material particulado respirable fueron recolectadas cuando los motociclistas se encontraban transitando en el interior del centro de Medellín y en medio de los vehículos automotores, lo cual hace que las concentraciones de material particulado sean inhaladas directamente por los motociclistas.

De acuerdo a los datos reportados por la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire de la estación Museo de Antioquia, se puede decir que una exposición de 5 horas en el centro de Medellín es equivalente a 24 horas, es decir una persona estando 5 horas en esta zona se encuentra expuesta a unas concentraciones que se están por encima de lo estipulado por la Guía de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud.

Si se asume que una persona en reposo respira con una frecuencia de 12 a 15 veces por minutos y en cada una de estas respiraciones de inspiran y expiran 500 ml de aire<sup>43</sup>, lo que equivale a ingresar al organismo un promedio de 6750 ml/min de aire. Este análisis lleva a plantear que si la OMS recomienda un estandar de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para una exposición de 24 horas y el estudio demostró que la exposición promedio de los motociclistas en el centro de Medellín es de  $216 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en un tiempo promedio de 4.3 horas, se podría plantear la siguiente relación y hallar el tiempo máximo al que un motociclista podría estar expuesto en esta zona y alcanzar las recomendaciones de la OMS :

$$Q_1 * T_1 * C_1 = Q_2 * T_2 * C_2$$

Donde:

$C_1$  = Promedio concentración hallada

$C_2$  = Concentración recomendada por OMS

$T_1$  = Promedio de exposición máxima

$T_2$  = Tiempo estipulado por OMS

$Q_1$  = Caudal promedio de aire ingresado al organismo

$Q_2$  = Caudal promedio de aire ingresado al organismo

$$T_1 = \frac{(Q_2 * T_2 * C_2)}{(Q_1 * C_1)}$$

$$T_1 = \frac{(25 \mu\text{g}/\text{m}^3) * (24 \text{ horas}) * (6750 \text{ ml}/\text{min})}{(216 \mu\text{g}/\text{m}^3) * (6750 \text{ ml}/\text{min})}$$

$$T_1 = 2.8 \text{ horas}$$

Aunque no hay un estándar máximo permisible de exposición a material particulado proveniente de la combustión de vehículos automotores, pero existe una guía de la OMS recomendando un límite de exposición de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para periodos de 24 horas, de acuerdo a la relación matemática planteada anteriormente, se puede decir que un motociclista en el centro de Medellín, estaría en el límite de exposición diaria según la OMS, cuando haya realizado 2.8 horas de recorrido en esa zona, lo cual indica que entre más horas permanezca en este lugar mayor será su exposición a material particulado.

## 10 Conclusiones

El 100% de las evaluaciones de material particulado respirable realizadas a motociclistas que ejecutan sus actividades laborales en la zona centro del municipio de Medellín, presentan concentraciones se encuentran por encima de lo estipulado por la Guía de la Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud ( $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), encontrando concentraciones que oscilan entre  $190\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $300\mu\text{g}/\text{m}^3$  para un promedio de exposición de 4.3 horas.

De acuerdo a los datos reportados por la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire, existe una relación entre el material particulado ambiental  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ , donde el promedio de las concentraciones para los días evaluados son de  $59.1\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $42.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, para un periodo de 24 horas. Lo anterior permite determinar que el material particulado que se encuentra en la zona centro de Medellín son partículas de menor diámetro, provenientes en su mayoría del flujo vehicular existente en este lugar.

No se evidencia una tendencia similar entre las concentraciones halladas de las evaluaciones de material particulado respirable realizadas a motociclistas que ejecutan sus actividades laborales en el zona centro de Medellín y los datos de material particulado ambiental  $\text{PM}_{2.5}$  de la estación Museo de Antioquia reportados por REDAIRE. Las concentraciones de material particulado respirable presentan valores que sobrepasan muchas veces el material particulado ambiental, debido a que fueron muestras tomadas propiamente en la zona de respiración del motociclista, el cual se encuentra en medio de los vehículos automotores, respiran directamente el material particulado y no cuentan con un sistema de protección que impida el ingreso de este contaminante por las vías respiratorias.

## 11 Recomendaciones

El monitoreo personal para contaminantes atmosféricos, se constituye en una herramienta que permite determinar con mayor precisión la exposición de los individuos en su ambiente, teniendo en cuenta todas las condiciones que influyen en su cuantificación, tanto de factores ambientales como laborales. Por lo cual es importante ejecutar estudios posteriores que permitan caracterizar la composición química del material particulado al cual están expuestos los motociclistas, en especial quienes ejecutan sus actividades laborales en la zona centro del municipio de Medellín.

Esta investigación sirve como base para realizar estudios posteriores no sólo en motociclistas sino en general para todas las personas que transitan o desarrollan sus actividades en el centro de Medellín, debido a que estos individuos se encuentran expuestos de manera permanente o temporal a este contaminante que genera efectos adversos en la salud humana y aún no se ejecutan medidas preventivas y/o correctivas que permitan contrarrestar éstos, principalmente en zonas como éstas de alto tránsito vehicular y poblacional.

## 12 Bibliografía

- <sup>1</sup> OPS, Organización Panamericana de la Salud. Evaluación de los efectos de la contaminación del aire en la salud de América Latina y el Caribe., OPS, Editor. 2005, OPS: Washington D.C
- <sup>2</sup> Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Política de prevención y control de la contaminación del aire. Bogotá D.C.: El Ministerio; 2010
- <sup>3</sup> Estevez García J. Exposición laboral a contaminación atmosférica: material particulado y efectos respiratorios en la salud de los policías de tránsito de Bogotá [Trabajo de grado Magister en Toxicología]. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Medicina. Departamento de Toxicología; 2010.
- <sup>4</sup> Martínez E, Bedoya J, Correa M, Muñoz A, Paz J, Morales O et al. Diagnóstico de la contaminación atmosférica en el Valle de Aburrá. Universidad de Antioquia. Facultad Nacional de Salud Pública. Centro de Investigaciones, 2007
- <sup>5</sup> Romero M, Lic. Diego F, Álvarez M. La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. Rev Cubana Hig Epidemiol [internet]. 2006 May – Ago; 44(2) [Consultado: 2012 marzo 18]. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1561-30032006000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032006000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- <sup>6</sup> Líquenes como bioindicadores de calidad del aire. Agencia de protección ambiental, Ministerio de Ambiente y Espacio Público. Buenos Aires; 2009 (pág 12)
- <sup>7</sup> Gaona J, Garzón J. Contaminación atmosférica generada por fuentes móviles en Bogotá [internet]. [Consultado: 2012 marzo 11]. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/54173626/CONTAMINACION-ATMOSFERICA-GENERADA-POR-FUENTES-MOVILES-EN-BOGOTA>
- <sup>8</sup> Espinosa Echeverri P. Calidad del aire, salud y transporte [internet]. [Consultado: 2012 marzo 18]. Disponible en: <ftp://190.5.199.3/seminarioambiental/Memorias/Calidad%20del%20Aire%20Msc.%20Paulo%20Mauricio%20Espinosa.pdf>
- <sup>9</sup> Gaviria C, Benavides C, Arroyave C. Contaminación por material particulado (PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>) y consultas por enfermedades respiratorias en Medellín (2008-2009). Rev. Fac. Nac. Salud Pública. 2011 Sep – Dic; 29 (3): 241-250.
- <sup>10</sup> Díaz P. Evaluación de los efectos del tabaquismo y la contaminación ambiental en la función pulmonar de adultos. Universidad de Antioquia, Facultad Nacional de Salud Pública; 2010 (Pag 241- 250)

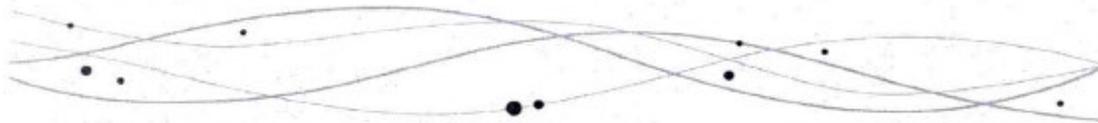
- <sup>11</sup> Brignardello A. Humo negro contamina el pulmón, envenena la sangre y puede afectar al feto. ABC Digital. 2011 enero 20. Sec Noticias Nacionales.
- <sup>12</sup> Enciclopedia Medellín. Medellín [internet]. [Consultado: 2012 marzo 18]. Disponible en: <http://portalvirtual.encyclopediamedellin.com/?p=203>
- <sup>13</sup> Daniels F, Martínez E, Quinchía R,. Contaminación atmosférica y efectos sobre la salud de la población. [internet]. [Consultado: 2012 abril 28]. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1561-30032006000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=eshttp://www.medellin.gov.co/irj/portal/ciudadanos?NavigationTarget=navurl://3acf5001a9867b6085b2c5a52b2c6dd8](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032006000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=eshttp://www.medellin.gov.co/irj/portal/ciudadanos?NavigationTarget=navurl://3acf5001a9867b6085b2c5a52b2c6dd8)
- <sup>14</sup> Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Presentación [internet]. [Consultado: 2012 abril 28]. Disponible en: <http://www.aredigital.gov.co/institucional/Paginas/Presentaci%C3%B3n.aspx>
- <sup>15</sup> Daniles F, Martínez López E, Qunichia R, Morales O, Romero A, Marín AM, Arbeláez MP. Estado del Arte sobre los estudios de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá. Medellín: Universidad de Antioquia, Facultad Nacional de Salud Pública, Centro de investigaciones; 2007
- <sup>16</sup> Caracol Radio. En Colombia circulan 4 millones 500 mil motos frente a 4 millones 300 mil vehículos: Asopartes primavera [internet]. [Consultado: 2012 septiembre 25]. Disponible en: <http://www.caracol.com.co/noticias/economia/en-colombia-circulan-4-millones-500-mil-motos-frente-a-4-millones-300-mil-vehiculos-asopartes/20120925/nota/1767767.aspx>
- <sup>17</sup> De la Urbe Digital. A Medellín se le acaba la eterna primavera [internet]. [Consultado: 2012 abril 28]. Disponible en: <http://delaurbedigital.udea.edu.co/index.php/ciudad/491-a-medellin-se-le-acaba-la-eterna-primavera>
- <sup>18</sup> Colorado P, Valencia J. Siete claves para mejorar el aire en el Valle de Aburrá. El Colombiano. 2012 nov 27; Sec Medio Ambiente.
- <sup>19</sup> Sistema de Información Ambiental de Colombia. Contaminación atmosférica. [internet]. [Consultado: 2012 abril 28]. Disponible en: <http://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=461&conID=538>
- <sup>20</sup> Medio Ambiente info. Los contaminantes atmosféricos [internet]. [Consultado: 2012 abril 28]. Disponible en: <http://www.medioambiente.info/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=380>

- <sup>21</sup> Principales contaminantes atmosféricos y sus efectos sobre la salud [internet]. [Consultado: 2012 diciembre 14]. Disponible en: [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_04/06\\_atmosfera/recuadros/c\\_rec2\\_06.htm](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/06_atmosfera/recuadros/c_rec2_06.htm)
- <sup>22</sup> Chaparro L, Cuervo M, Gómez J, Toro M. Emisiones al ambiente en Colombia. [internet]. [Consultado: 2013 enero 20]. Disponible en: <https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/000001/cap13.pdf>
- <sup>23</sup> Manual de inventario de fuentes móviles. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Consultor K2: Ingeniería Ltda
- <sup>24</sup> Echeverri Londoño CA, Maya Vasco GJ. Relación Entre las partículas finas (PM2.5) y respirables (PM10) en la ciudad de Medellín. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, volumen 7, No. 12, pp. 23-42 - ISSN 1692-3324 - enero-junio de 2008/197p. Medellín, Colombia
- <sup>25</sup> Ghafghazi S., Sowlati T., Sokhansanj S., Bi X., Melin S., Particulate matter emissions from combustion of wood in district heating applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 3019– 3028.
- <sup>26</sup> Paul A. Baron, Aerosol Measurement. Principles, techniques and applications. A John wiley & sons, publication. United States of America. 2001. p. 119.
- <sup>27</sup> Echeverri Londoño CA, Maya Vasco GJ. Relación Entre las partículas finas (PM2.5) y respirables (PM10) en la ciudad de Medellín. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, volumen 7, No. 12, pp. 23-42 - ISSN 1692-3324 - enero-junio de 2008/197p. Medellín, Colombia
- <sup>28</sup> Gaona J, Garzón J. Contaminación atmosférica generada por fuentes móviles en Bogotá. [internet]. [Consultado: 2013 enero 20]. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/54173626/CONTAMINACION-ATMOSFERICA-GENERADA-POR-FUENTES-MOVILES-EN-BOGOTA>
- <sup>29</sup> Gutiérrez, Héctor. Contaminación del aire, riesgos para la salud, Editorial El manual moderno. S.A. de C.V. Primera edición, 1997.
- <sup>30</sup> Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno, y el dióxido de azufre, Organización Mundial de la Salud, Actualización mundial 2005
- <sup>31</sup> Corporación para el mejoramiento del aire de Quito. Índice Quiteño de la calidad del aire. [internet]. [Consultado: 2013 enero 20]. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/fulltext/IQCA.pdf>

- <sup>32</sup> Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno, y el dióxido de azufre. Organización Mundial de la Salud. Actualización mundial 2005
- <sup>33</sup> Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 610 de 2010 por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006 (Mar. 24 2010).
- <sup>34</sup> Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, Marzo de 2010.
- <sup>35</sup> Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España. Toma de Muestras de Aerosoles, Muestreadores de Fracción Inhalable. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. CR-03/2006. España 2006.
- <sup>36</sup> Particle Size-selective Sampling for Health-related Aerosols, ACGIH, 1999
- <sup>37</sup> NIOSH, Particulates not otherwise regulated, respirable, NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Fourth Edition Issue 3: 15 January 1998.
- <sup>38</sup> Daniles F, Martínez López E, Qunichia R, Morales O, Romero A, Marín AM, Arbeláez MP. Estado del Arte sobre los estudios de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá. Medellín: Universidad de Antioquia, Facultad Nacional de Salud Pública, Centro de investigaciones; 2007
- <sup>39</sup> Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Clasificación estaciones de monitoreo calidad del aire. Informe técnico diciembre de 2012
- <sup>40</sup> Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Plan Metròpoli 2008 – 2020. Pág. 163, 164.
- <sup>41</sup> Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Nos movemos por el aire. Plan de Descontaminación. primavera [internet]. [Consultado: 2013 febrero 08]. Disponible en: <http://www.aredigital.gov.co/CalidadAire/Paginas/medidasc.aspx>
- <sup>42</sup> Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno, y el dióxido de azufre. Organización Mundial de la Salud. Actualización mundial 2005
- <sup>43</sup> Ganong W, Fisiología Médica. 17<sup>a</sup> edición. Manual moderno. México 2000. Citador por: Ortodoncia WS. La función respiratoria y su repercusión a nivel del Sistema Estomatognático [internet]. [Consultado: 2013 marzo 01]. Disponible en: <http://www.ortodoncia.ws/publicaciones/2007/art5.asp>

## Anexos

### Anexo 1. Certificado medidor de gas seco



## Calibration Certificate

**Certificate No.** 513669  
**Product** Defender 510 Medium Flow  
**Serial No.** 128371  
**Cal. Date** 5/21/2012  
**Sales Date** 5/29/2012 *Calibration interval commences on sale date.*

All calibrations are performed in accordance with ISO 17025 at Bios International Corporation, 10 Park Place, Butler, NJ, 07405, 800-663-4977, an ISO 17025:2005 – accredited laboratory through NVLAP. This report shall not be reproduced except in full, without the written approval of the laboratory. Results only relate to the items calibrated. This report must not be used to claim product certification, approval, or endorsement by NVLAP, NIST, or any agency of the Federal Government.

All units tested in accordance with Bios International Corporation test number PR17-13 using high-purity bottled nitrogen or dry filtered laboratory air.

### Calibration Data

Technician Zenaida Ortiz

**Lab. Pressure** 756 mmHg  
**Lab. Temperature** 22.6 °C

Instrument Reading	Lab Standard Reading	Deviation	Allowable Deviation	As Shipped
101.38 ccm	100.535 ccm	0.84 %	1.00%	In Tolerance
1,008.9 ccm	1004.45 ccm	0.44 %	1.00%	In Tolerance
5,048.0 ccm	5004.8 ccm	0.82 %	1.00%	In Tolerance

### Bios International Standards Used

Description	Standard Serial Number	Calibration Date	Calibration Due Date
ML 500-24	113775	4/24/2012	4/24/2013

### Calibration Notes

Bios is an ISO 17025-accredited metrology laboratory. Each Bios primary gas flow standard is dynamically verified by comparing it to one of our laboratory standards, which is a Proven DryCal® Technology volumetric piston prover of much higher accuracy but of similar operating principles. For this purpose, a flow generator of ±0.03% stability is used. Our laboratory standards are qualified by direct measurement of their dimensions (diameter, length and time) using NIST-traceable precision gauges and instruments, such as depth micrometers and laser micrometers. NIST numbers for these gauges and instruments are available upon request. Rigorous analyses of our laboratory standards' uncertainties have been performed, in accordance with The Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (the GUM), assuring their traceable accuracy.

David W. Wilson, Chief Metrologist

Anexo 2. Certificado balanza analítica



**Equipos y Laboratorio**  
DE COLOMBIA

**CERTIFICADO DE CALIBRACION**  
Certificate of Calibration

<b>Número:</b>	#0508-C	<b>Página 1 de 5</b>
<b>Number:</b>		Page 1 of 5

<b>SOLICITANTE:</b>	LABORATORIO DE HIGIENE AMBIENTAL		
<b>Customer:</b>			
<b>INSTRUMENTO:</b>	BALANZA SEMIMICROANALITICA		
<b>Instrument:</b>			
<b>FABRICANTE:</b>	PRECISA	<b>MODELO:</b>	40SM-200A
<b>Manufacturer:</b>		<b>Model:</b>	
<b>SERIE NUMERO:</b>	72623	<b>INVENTARIO NUMERO:</b>	NP
<b>Serial number:</b>		<b>Inventory number:</b>	
<b>CARGA MÁXIMA:</b>	41 g	<b>CARGA MÍNIMA:</b>	0,00001 g
<b>Max. charge:</b>		<b>Min. charge:</b>	
<b>DIVISION DE ESCALA:</b>	0,00001 g	<b>ESCALA DE VERIFICACION:</b>	0,001 g
<b>Scale division:</b>		<b>Scale verification:</b>	
<b>CLASE PRECISIÓN:</b>	I		
<b>Precision Class:</b>			

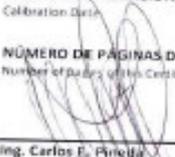
  

<b>FECHA DE RECEPCION:</b>	2012-10-04
<b>Receipt Date:</b>	
<b>FECHA DE CALIBRACION:</b>	2012-10-04
<b>Calibration Date:</b>	

<b>NÚMERO DE PAGINAS DEL CERTIFICADO INCLUYENDO ANEXOS:</b>	5
<b>Number of Pages of the Certificate and Documents Attached:</b>	

 <b>Ing. Carlos E. Pineda</b> Calibrado por - Calibrated by	 <b>Ing. Daniel Díaz Flores</b> Revisado por - Checked by
--	---

Este certificado expresa formalmente el resultado de las mediciones realizadas. Puede ser reproducido totalmente, pero no parcialmente, excepto cuando se haya obtenido previamente permiso por escrito del laboratorio que lo emite.  
 This certificate is an official record of performed result. This calibration certificate may not be reproduced other than in full, except with the prior written permission of the issuing laboratory.

Los resultados contenidos en el presente certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizó la medición. El laboratorio de calibración que lo emite no se responsabiliza de los posibles errores de uso inadecuado de los instrumentos calibrados.  
 The results of this certificate refer to the moment and conditions in which the measurements were made. The issuing laboratory assumes no responsibility for misuse due to improper use of the calibrated instruments.



**Equipos y Laboratorio de Colombia S.A.S.**  
 Calle 47D No. 72 - 83 • PBX: 448 0388 • Medellín - Colombia  
 E-mail: info@equiposylaboratorio.com • Web: www.equiposylaboratorio.com



### Anexo 3. Resultados laboratorio

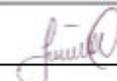
	<b>RESULTADOS PESAJE</b>	F-8801-01-0048
		VERSION 01
FACULTAD NACIONAL DE SALUD PUBLICA LABORATORIO DE SALUD PUBLICA AREA DE HIGIENE AMBIENTAL		PAGINA 1 DE 1

Fecha pesaje inicial	2013/01/14
----------------------	------------

Fecha pesaje final	2013/02/01
--------------------	------------

Código	Promedio Peso Inicial (q)	Promedio Peso Final (q)	Código	Promedio Peso Inicial (q)	Promedio Peso Final (q)
M1	0.01460	0.01471	-	-	-
M2	0.01476	0.01483	-	-	-
M3	0.01473	0.01484	-	-	-
M4	0.01456	0.01471	-	-	-
M5	0.01456	0.01459	-	-	-
M6	0.01466	0.01673	-	-	-
M7	0.01660	0.01666	-	-	-
M8	0.01626	0.01637	-	-	-
M9	0.01497	0.01511	-	-	-
M10	0.01688	0.01694	-	-	-
M11	0.01468	0.01472	-	-	-
M12	0.01458	0.01461	-	-	-
M13	0.01445	0.01448	-	-	-
M14	0.01427	0.01437	-	-	-
M15	0.01447	0.01454	-	-	-
M16	0.01450	0.01455	-	-	-
M17	0.01478	0.01492	-	-	-
M18	0.01435	0.01455	-	-	-
M19	0.01465	0.01478	-	-	-
M20	0.01459	0.01463	-	-	-
M21-B	0.01488	0.01496	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

Responsable pesaje: Jhon Jaime Cárdenas Monsalve Firma: \_\_\_\_\_



### Anexo 4. Formato de campo

#### Exposición a material particulado respirable en motociclistas. Medellin, 2013

Fecha aaa/mm/dd					
Identificación de la muestra					
Presión atmosférica (mmHg)		Humedad relativa (%)		Temperatura (°C)	
Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Tiempo total de monitoreo (min)					
Identificación de la persona a evaluar					
Nombre					
Apellidos					
Identificación					
Rutas del día					
Estaciones de monitoreo cercanas a la ruta					
Observaciones					

#### Consentimiento informado

El diligenciamiento de este formato solo es aplicable para aquellas personas que hayan decidido de manera voluntaria participar en el estudio. Es de resaltar que la información obtenida en esta investigación es confidencial y la identificación de las personas evaluadas no será revelada en ningún momento.

Nombre: \_\_\_\_\_

Huella

Firma: \_\_\_\_\_

## Anexo 5. Registro fotográfico



Figura 8. Motociclista con tren de muestreo instalado.

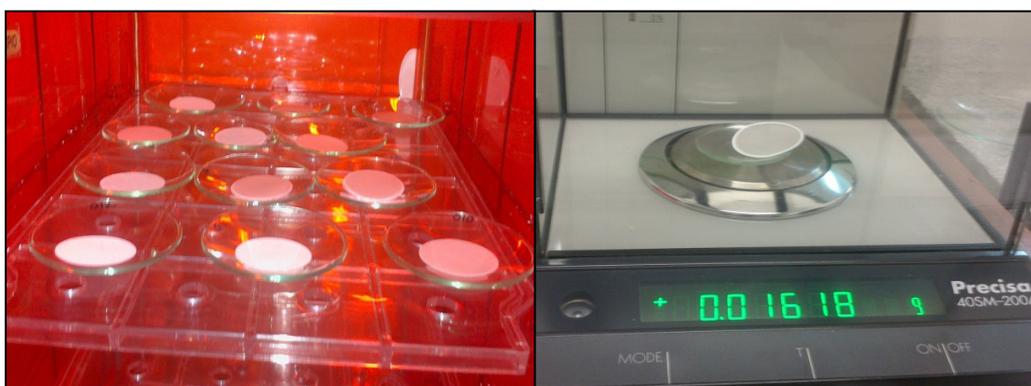


Figura 9. Proceso de desecado y pesaje de filtros.