

**Contaminación atmosférica y mortalidad por  
enfermedades Cardiorespiratorias.  
Medellín 1980 - 2010**

**Stephanie Díez López**

Trabajo de grado para optar al título de profesional en  
Administración en Salud con énfasis en Gestión Sanitaria y Ambiental

Asesor

**Elkin Martínez López**  
MD MSc MPH

Universidad de Antioquia  
Facultad Nacional de Salud pública

Héctor Abad Gómez

Medellín

2016

## Contenido

<b>Resumen</b> .....	10
<b>1. Introducción</b> .....	11
<b>2. Planteamiento del problema</b> .....	12
2.1 Antecedentes.....	12
2.2 Descripción del problema .....	14
<b>3. Justificación</b> .....	17
<b>4. Objetivos</b> .....	18
4.1 Objetivo general.....	18
4.2 Objetivos específicos.....	18
<b>5. Marcos de referencia</b> .....	19
5.1 Marco Geográfico .....	19
5.2 Marco conceptual .....	19
5.2.1 Generalidades de la contaminación atmosférica .....	19
5.2.2 Material particulado .....	20
5.2.3 Fuentes de contaminación .....	23
5.2.4 Enfermedades producidas por contaminantes ambientales .....	25
5.3 Marco legal .....	27
5.3.1 Marco jurídico .....	27
5.3.2 Marco normativo.....	28
<b>6. Metodología</b> .....	31
6.1 Tipo de estudio .....	31
6.2 Diseño de la investigación .....	31
6.3 Población Objeto .....	31
6.4 Diseño de la muestra.....	31
6.5 Criterios de inclusión .....	31

6.6 Criterios de exclusión .....	32
6.7 Recolección y análisis de la información .....	32
6.7.1 Plan de análisis .....	33
6.7.2 Tipos de análisis.....	33
6.8 Variables.....	33
<b>7. Resultados.....</b>	<b>35</b>
7.1 Contaminación del aire .....	35
7.2 Partículas en Suspensión Total (PST).....	36
7.3 Partículas respirables (PM <sub>10</sub> ) y partículas finas (PM <sub>2,5</sub> ).....	37
7.4 Crecimiento vehicular y contaminación .....	38
7.5.1 Enfermedad pulmonar obstructiva crónica .....	40
7.5.2 Cáncer de pulmón .....	45
7.5.3 Enfermedades cardiovasculares .....	50
7.6 Material particulado y mortalidad por EPOC.....	52
7.7 Material particulado y mortalidad por cáncer de pulmón .....	54
7.8 Material particulado y mortalidad por enfermedades cardiovasculares .....	57
<b>8. Discusión.....</b>	<b>58</b>
<b>9. Conclusiones .....</b>	<b>62</b>
<b>10. Recomendaciones .....</b>	<b>63</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>65</b>

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Marco jurídico .....	27
<b>Tabla 2.</b> Marco normativo .....	28
<b>Tabla 3.</b> Variables.....	34
<b>Tabla 4.</b> Conversión de Partículas suspendidas Totales (PST) a Partículas respirables (PM <sub>10</sub> ) y Partículas finas (PM <sub>2,5</sub> ). Medellín 1980-2010. ....	35
<b>Tabla 5.</b> Crecimiento del número vehículos y motocicletas en el Área Metropolitana 2000-2011 .....	39
<b>Tabla 6.</b> Tasa de mortalidad por Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC). Medellín 1980 – 2010 .....	42
<b>Tabla 7.</b> Tasa de mortalidad por Cáncer de Pulmón. Medellín 1980 – 2010.....	46
<b>Tabla 8.</b> Número de muertes por afecciones respiratorias bajas en Medellín 1980-2010.....	49
<b>Tabla 9.</b> Muertes estimadas por enfermedades cardiovasculares.1980-2010 .....	50
<b>Tabla 10.</b> Distribución de la mortalidad por enfermedades producidas por la contaminación del aire según causa. Medellín. 1980 – 2010 .....	51
<b>Tabla 11.</b> Correlación y regresión lineal entre material particulado PST, PM <sub>10</sub> y PM <sub>2,5</sub> y tasa de mortalidad por enfermedad pulmonar obstructiva crónica .....	52
<b>Tabla 12.</b> Correlación y regresión lineal entre material particulado PST, PM <sub>10</sub> y PM <sub>2,5</sub> y tasa de mortalidad por cáncer de pulmón.....	55
<b>Tabla 13.</b> Correlación y regresión lineal entre material particulado PST, PM <sub>10</sub> y PM <sub>2,5</sub> y casos de mortalidad por enfermedades cardiovasculares.....	57

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Diagrama de factores relacionados con la contaminación atmosférica por material particulado en Medellín .....	16
<b>Figura 2 .</b> Tendencia de la contaminación por PST 1980-2010 .....	37
<b>Figura 3.</b> Comportamiento de la contaminación por PST, PM <sub>10</sub> y PM <sub>2,5</sub> 1980-2010 .....	38
<b>Figura 4.</b> Crecimiento vehicular en el Valle de Aburrá 2000-2011 .....	40
<b>Figura 5.</b> Número de muertes por enfermedades respiratorias crónicas. Medellín. 1980 – 2010 .....	41
<b>Figura 6.</b> Niveles anuales de PST y tasa de mortalidad por Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica.....	43
<b>Figura 7.</b> Niveles anuales de PM <sub>10</sub> y tasa de mortalidad por Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica.....	44
<b>Figura 8.</b> Niveles anuales de PM <sub>2,5</sub> y tasa de mortalidad por Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica .....	44
<b>Figura 9.</b> Número de muertes por cáncer de pulmón. 1980 – 2010 .....	45
<b>Figura 10.</b> Niveles anuales de PST y tasa de mortalidad por cáncer de pulmón.	47
<b>Figura 11.</b> Niveles anuales de PM <sub>10</sub> y tasa de mortalidad por cáncer de pulmón.	48
<b>Figura 12.</b> Niveles anuales de PM <sub>2,5</sub> y tasa de mortalidad por cáncer de pulmón. ....	49
<b>Figura 13.</b> Distribución porcentual de la mortalidad por enfermedades causadas por la contaminación del aire. 1980 – 2010 .....	51

<b>Figura 14.</b> Correlación entre los casos mortalidad por enfermedad pulmonar obstructiva crónica y PST 1980-2010 .....	53
<b>Figura 15.</b> Correlación entre los casos de mortalidad por enfermedad pulmonar obstructiva crónica y PM <sub>10</sub> 1980-2010 .....	53
<b>Figura 16.</b> Correlación entre los casos de mortalidad por enfermedad pulmonar obstructiva crónica y PM <sub>2,5</sub> 1980-2010 .....	54
<b>Figura 17.</b> Correlación entre los casos de mortalidad por cáncer de pulmón y PST 1980-2010.....	55
<b>Figura 18.</b> Correlación entre los casos de mortalidad por cáncer de pulmón y PM <sub>10</sub> 1980-2010.....	56
<b>Figura 19.</b> Correlación entre los casos de mortalidad por cáncer de pulmón y PM <sub>2,5</sub> 1980-2010 .....	56
<b>Figura 20.</b> Peso proporcional de factores contaminantes que influyen en el desarrollo de enfermedades cardiorespiratorias .....	60

## Glosario

**Cáncer de pulmón:** cáncer que se forma en los tejidos del pulmón, generalmente, en las células que recubren las vías respiratorias. Existen dos tipos más importantes de cáncer de pulmón, el cáncer de pulmón de células pequeñas y el cáncer de pulmón de células no pequeñas.<sup>1</sup>

**Contaminación:** es la introducción por el hombre en el medio ambiente de sustancias o energía que pueda poner en peligro la salud humana, perjudicar a recursos vivos y sistemas ecológicos o interferir en los usos legítimos del medio ambiente.<sup>2</sup>

**Dióxido de carbono:** gas incoloro e inodoro de un ligero sabor ácido, que puede encontrarse comprimido y licuado o tener forma de escamas o cubos blancos y contribuye al calentamiento de la Tierra.<sup>3</sup>

**Compuestos orgánicos volátiles:** sustancias químicas que contienen carbono y se encuentran en todos los elementos vivos; se convierten fácilmente en vapores o gases. Junto con el carbono, contienen elementos como hidrógeno, oxígeno, flúor, cloro, bromo, azufre o nitrógeno.<sup>4</sup>

**Enfermedades cardiovasculares:** conjunto de trastornos que afectan el corazón y los vasos sanguíneos. Cuando afecta los vasos sanguíneos puede comprometer órganos como el cerebro (enfermedad cerebrovascular), los miembros inferiores, los riñones y el corazón.<sup>5</sup>

**Enfermedades respiratorias crónicas:** enfermedades crónicas de las vías respiratorias y otras estructuras del pulmón. Tales como: asma, alergias respiratorias, enfermedades pulmonares de origen laboral e hipertensión pulmonar.<sup>6</sup>

**Enfermedad pulmonar obstructiva crónica:** concepto general que designa diversas dolencias pulmonares crónicas que limitan el flujo de aire en los pulmones. Dicha enfermedad pulmonar es potencialmente mortal y conduce de forma progresiva a la muerte.<sup>7</sup>

**Infarto agudo de miocardio:** enfermedad de las arterias coronarias de tipo riego sanguíneo insuficiente, con daño tisular, en una parte del corazón, producido por una obstrucción en una de las arterias coronarias.<sup>8</sup>

**Material particulado:** mezcla de partículas líquidas y sólidas, de sustancias orgánicas e inorgánicas, que se encuentran en suspensión en el aire.<sup>9</sup>

**Membrana alvéolo-capilar:** estructura indispensable en el transporte de líquidos en los lugares de intercambio terminal del pulmón, así como en la difusión de los gases.<sup>10</sup>

**Muestreador tipo Hi-Vol:** dispositivo que tiene la capacidad de recolectar grandes volúmenes de aire, para filtrar las partículas y retenerlas en un filtro, que posteriormente será pesado.<sup>11</sup>

**Partículas suspendidas totales:** mezcla compleja de materiales sólidos y líquidos, que pueden variar significativamente en tamaño, forma y composición, dependiendo fundamentalmente de su origen. Su tamaño puede variar desde 0.005 hasta 100  $\mu$ m de diámetro aerodinámico.<sup>12</sup>

**Partículas menores a 10 micras:** partículas con menos de 10 micrones de diámetro. Se conocen como partículas gruesas y contienen polvo proveniente de las vías, las industrias y la combustión. Dependiendo de su tamaño, pueden alojarse en la tráquea o en los bronquios.<sup>13</sup>

**Partículas menores a 2,5 micras:** partículas con menos de 2,5 micrones de diámetro. También llamadas partículas finas y contienen aerosoles secundarios, partículas de combustión y vapores metálicos y orgánicos, así como componentes ácidos. Este tipo de partículas pueden llegar hasta los alvéolos pulmonares.<sup>13</sup>

**Partículas menores a 0,1 micras:** son partículas con menos de 0,1 micrones de diámetro, denominadas como partículas ultrafinas. Estas partículas al exhalarse pueden llegar al torrente sanguíneo.<sup>13</sup>

**RedAire:** red de cooperación científica y tecnológica para el estudio de la meteorología y la calidad del aire en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.<sup>14</sup>

**Regresión lineal simple:** método matemático que modela la relación entre una variable dependiente (Y), y una variable independiente (X). Se centra en determinar una ecuación lineal que permita describir de manera apropiada la variabilidad de Y dado el valor de X.<sup>15</sup>

**Series de tiempo:** secuencia de datos medidos en determinados momentos, ordenados cronológicamente. Su análisis permite interpretar datos, extrayendo información representativa, tanto referente a los orígenes o relaciones subyacentes como a la posibilidad de extrapolar y predecir su comportamiento futuro.<sup>16</sup>

## Siglas

**CIE:** Clasificación Internacional de Enfermedades

**CO:** Monóxido de carbono

**CO<sub>2</sub>:** Dióxido de carbono

**COV:** Compuestos Orgánicos Volátiles.

**DANE:** Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas.

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

**ECV:** Enfermedades Cardiovasculares.

**ER:** Enfermedades Respiratorias Crónicas.

**EPOC:** Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica.

**IARC:** Agencia Internacional de Investigación Oncológica

**IDEAM:** Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

**HNO<sub>3</sub>:** Ácido nítrico

**H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:** Ácido sulfúrico

**LAC:** América Latina y el Caribe.

**MP:** Material particulado.

**NO<sub>x</sub>:** Óxidos de nitrógeno.

**PST:** Partículas Suspendidas Totales.

**PM<sub>2.5</sub>:** Partículas menores a 2.5 micras.

**PM<sub>10</sub>:** Partículas menores a 10 micras.

**O<sub>3</sub>:** Ozono

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

**SO<sub>x</sub>:** Óxidos de azufre.

## Resumen

La contaminación del aire puede generar efectos nocivos en la salud de una población, causando enfermedades respiratorias y cardiovasculares. **Objetivo:** Estimar la relación entre la contaminación atmosférica por material particulado y la mortalidad por enfermedades cardiorespiratorias en Medellín, 1980-2010. **Metodología:** Estudio descriptivo, ecológico, retrospectivo. Se estudian las concentraciones de material particulado según información generada por RedAire y se calculan las tasas de mortalidad poblacionales de Medellín para los últimos 30 años con datos procedentes del DANE. Se aplican las técnicas estadísticas de regresión lineal simple y correlación. **Resultados:** el aire en Medellín tiene niveles altos de contaminación por material particulado, que muestran tendencia al aumento (3-4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  por año de PST, 2-3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM<sub>10</sub> y de 1-2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM<sub>2,5</sub>). En la ciudad las muertes por enfermedad pulmonar obstructiva crónica y cáncer de pulmón vienen aumentando a razón de 24 y 16 casos por año. Encontramos una alta asociación entre la contaminación del aire y la mortalidad por EPOC (R 0,91) y con el cáncer de pulmón (R 0,93). Calculamos que en Medellín se presentan anualmente 4000 muertes asociadas con la contaminación del aire. **Conclusiones:** La exposición crónica a altas concentraciones de material particulado en el aire, está relacionada con incrementos en la mortalidad por enfermedades cardiorespiratorias. Los niveles de material particulado en Medellín superan en cerca de 400% los niveles de precaución propuestos por la Organización Mundial de la Salud. Se hace imperativo mejorar las políticas, planes y programas para la prevención y el control de la contaminación atmosférica en la ciudad.

**Palabras clave:** contaminación atmosférica, material particulado, mortalidad, enfermedades cardiorespiratorias.

## 1. Introducción

La contaminación atmosférica representa un gran problema de higiene del medio que afecta a la población de los países en vía de desarrollo y los desarrollados. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la contaminación del aire es considerada un riesgo medioambiental para la salud y ha determinado que la disminución de los niveles de dicha contaminación, pueden mejorar la salud respiratoria y cardiovascular de las personas, tanto a largo como a corto plazo; puesto que los pobladores de ciudades donde hay altos niveles de contaminación del aire padecen más enfermedades cardíacas, problemas respiratorios y cáncer del pulmón que aquellos que viven en zonas urbanas donde el aire es más limpio.  
17-18

El deterioro de la calidad del aire es un fenómeno evidenciado desde la revolución industrial. Debido a que el desarrollo de la industria aumentó la emisión a la atmósfera de grandes cantidades de sustancias gaseosas y particuladas procedentes de la producción y del uso de combustibles, los problemas de contaminación del aire se han presentado desde entonces en diferentes ciudades como Londres, Río de Janeiro, México, Santiago de Chile, entre otras.<sup>19-20</sup>

En Colombia el 74% de la población habita en zonas urbanas y grandes centros industriales, donde se generan los mayores niveles de contaminación, lo cual cobra una especial significancia en la salud de las personas.<sup>21</sup>

La exposición a contaminantes atmosféricos puede aumentar no solo la tasa de morbilidad, sino la tasa de mortalidad y el número de ingresos hospitalarios de pacientes con síntomas respiratorios y cardiovasculares. En conjunto, alrededor de un 30% de la población consulta con su médico al menos una vez al año por síntomas respiratorios.<sup>22-23</sup>

Medellín es la novena ciudad más contaminada de América Latina y el 80% de su contaminación es atribuida a las emisiones generadas por los vehículos y a los problemas de movilidad que se presentan en el municipio; sin embargo existen otras causas como los procesos de urbanización, el desarrollo industrial y la topografía de la ciudad que agravan el problema de la calidad del aire.<sup>24-25</sup>

Esta investigación tiene como propósito generar información para estimar la relación entre la contaminación atmosférica por material particulado y la mortalidad por enfermedades cardiorespiratorias en Medellín, entre los años 1980-2010.

## 2. Planteamiento del problema

### 2.1 Antecedentes

La contaminación atmosférica es un problema que genera efectos nocivos sobre la salud humana y el medio ambiente <sup>26</sup> y afecta tanto a países desarrollados como aquellos en vía de desarrollo; por tal razón la calidad del aire ha ido tomando importancia y generando preocupación en los diferentes países del mundo, donde las concentraciones de material particulado (MP) y demás contaminantes exceden los niveles críticos establecidos a nivel nacional e internacional. <sup>27</sup>

El desarrollo de los centros urbanos, ha generado que las personas estén cada vez más expuestas a altos niveles de contaminantes, que aumentan el riesgo de mortalidad, producto de enfermedades respiratorias y cardiovasculares; <sup>27</sup> por lo cual el deterioro de la calidad del aire ha desencadenado los mayores costos sociales y ambientales después de los generados por la contaminación del agua y los desastres naturales. <sup>26</sup>

Siendo un problema medioambiental, no puede desconocerse que la contaminación del aire también genera daños en el ambiente; la formación de lluvia ácida es producto de las emisiones de dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno que entran en contacto con el vapor de agua y forman pequeñas gotas de lluvia ácidas; que afectan las plantas, contaminan las aguas superficiales y los suelos y generan erosión en los edificios y monumentos. <sup>28</sup>

Además, las altas emisiones, producto de la actividad humana han generado cambios en la temperatura media mundial, los contaminantes del aire, se acumulan en la atmósfera formando una capa cada vez más gruesa, que da lugar al efecto invernadero y por ende al calentamiento de la tierra; lo cual perjudica a las plantas, pues las altas temperaturas pueden disminuir o inhibir totalmente la germinación de polen, de semillas, afectar adversamente la fotosíntesis y en general, el metabolismo de las mismas. <sup>29</sup> Todo ello se ve reflejado directamente en el daño a otras especies, las cuales tendrán limitaciones en la disponibilidad de hábitat, alimentos y agua, recursos indispensables para su supervivencia. <sup>30</sup>

En el caso de la salud pública, la Organización Mundial de la Salud (OMS), reporta que 7 millones de personas mueren anualmente como consecuencia de la contaminación del aire, es decir uno de cada ocho en el mundo. <sup>31</sup> Aunque hay muchos componentes que pueden contaminar el aire, el MP, está estrechamente

relacionado con altos índices de mortalidad por enfermedades respiratorias, cáncer, enfermedades del corazón y derrames cerebrales.<sup>32</sup> Estudios epidemiológicos confirman, que por cada incremento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de partículas menores a 2.5 micras ( $\text{PM}_{2.5}$ ), la mortalidad general se incrementa en 4 - 6%, la mortalidad cardiopulmonar en 6 - 9% y la mortalidad por cáncer de pulmón en 8 - 14%.<sup>33-34</sup> Reportes de estudios aseguran que el 80% de las enfermedades causadas por la contaminación externa del aire son cardiovasculares; mientras que, el 20% restante corresponde a enfermedades respiratorias y a cáncer de pulmón.<sup>35</sup>

Para 1948, los altos niveles de contaminación del aire se asociaron con un alarmante incremento en el número de muertes en Donora, Pennsylvania, Estados Unidos (EUA); igualmente en Londres, Inglaterra en 1952 y en Meuse Valley, Bélgica, para el año de 1930.<sup>36</sup> En América Latina y el Caribe (LAC), alrededor 100 millones de personas están expuestas a niveles de contaminación del aire por encima de los recomendados por la OMS.<sup>27</sup>

Una investigación realizada por Sanhueza y colaboradores<sup>37</sup> en Temuco, Chile, da cuenta de la asociación entre incrementos de partículas menores a 10 micras ( $\text{PM}_{10}$ ) y aumentos en las cifras de mortalidad diaria por causa de enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Al estudiar los efectos en la salud de un grupo de ancianos, causados por las partículas menores a 2,5 micras en la Amazonia brasileña, se observó una asociación entre las tasas de mortalidad por enfermedades del sistema circulatorio y la exposición a  $\text{PM}_{2.5}$  a la que se encontraba dicha población.<sup>38</sup>

El Banco Mundial, reporta que en Colombia ocurren cerca de 6.000 muertes anualmente, producto de la contaminación atmosférica.<sup>39</sup> Para el año 2005, un estudio realizado durante 9 años en Bogotá, mostró asociación entre el aumento de las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$ , como consecuencia de la contaminación del aire y la mortalidad diaria por todas las causas de muerte y principalmente por causas respiratorias.<sup>40</sup>

Medellín no es ajena a este problema; de acuerdo con los reportes entregados por la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire (RedAire), los promedios anuales de MP en las diversas estaciones de la ciudad y el Área Metropolitana, se encuentran desde  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  hasta  $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; sin embargo la OMS, ha promulgado niveles de precaución sanitaria de  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .<sup>33</sup> Al considerar el material particulado respirable ( $\text{PM}_{10}$ ), se reportan altos niveles de dicho contaminante ( $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), que superan

los niveles críticos ( $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), lo cual debe estar generando efectos nocivos en la salud de la población.<sup>33</sup>

## 2.2 Descripción del problema

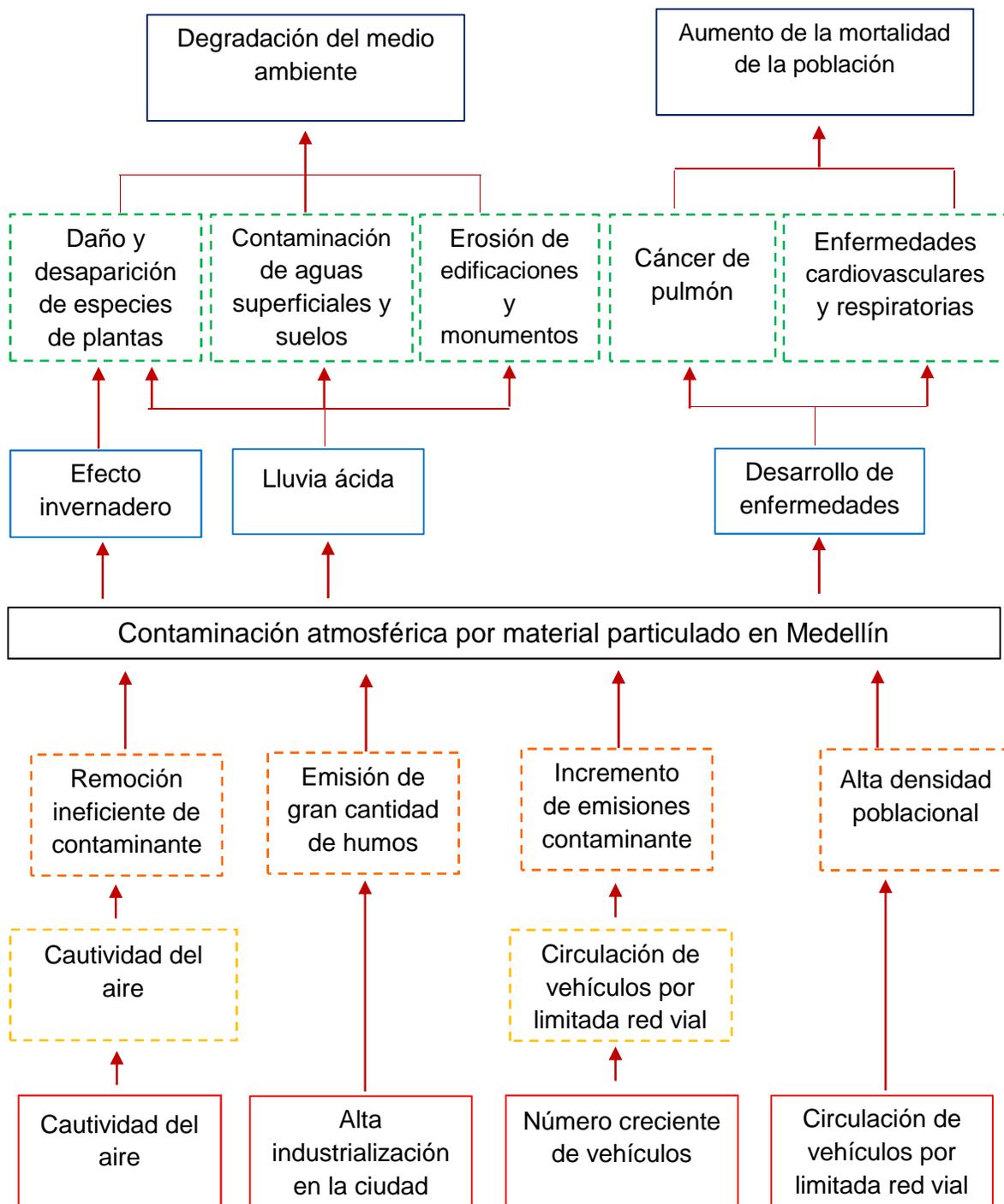
Medellín es reconocida como una de las ciudades con mayor nivel de descargas de contaminantes a la atmósfera.<sup>34</sup> El material particulado es el contaminante atmosférico que genera mayor riesgo para la salud de sus habitantes, pues además de sus efectos nocivos que desencadenan enfermedades cardiovasculares y respiratorias, se observa también su tendencia ascendente, un ejemplo de ello es que para el año 2007 las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  alcanzaban niveles de  $73 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en la estación de monitoreo Aguinaga<sup>41</sup>, sin embargo durante el año 2014 se registraron valores de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de dicho contaminante, en la estación ubicada en el Éxito de San Antonio;<sup>42</sup> todo ello, se debe a las particulares condiciones geográficas de la ciudad, que la hacen un valle estrecho y poco ventilado, impidiendo la dispersión de los contaminantes; puesto que las cadenas montañosas bloquean las corrientes de aire que pudieran ventilar la ciudad y solo permiten el recorrido de vientos de baja velocidad, procedentes del norte y cuya eficiencia en la remoción de contaminantes resulta insuficiente.<sup>33</sup>

Esto sumado al desarrollo industrial de la ciudad, lo cual genera mayor concentración de la población en torno a su lugar de empleo; altos niveles de urbanismo, que registran un aumento en las construcciones de edificios y una creciente demanda de transporte por parte de los ciudadanos para sus desplazamientos, que obliga a que los vehículos automotores circulen por la limitada red vial del área y adicionalmente usen combustibles fósiles de mala calidad;<sup>43</sup> donde las emisiones de los automotores, especialmente los humos negros producidos por vehículos grandes que transportan pasajeros o carga y que operan con combustible diesel, resultan ser los grandes contaminadores por material particulado.<sup>33</sup>

La densidad poblacional por tanto, ha aumentado en Medellín aproximadamente un 0,56% para un total de  $20.450 \text{ Hab}/\text{Km}^2$ ,<sup>44</sup> puesto que cada vez más personas estarán expuestas y habrán de respirar el aire cada vez más contaminado de su entorno excesivamente urbanizado; debido a que se calcula que cada año el nivel de partículas suspendidas totales (PST) aumenta entre 3 y  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .<sup>33</sup> En la Figura 1, se explican las causas y consecuencias, que ocasionan este problema.

Los efectos ambientales en Medellín se observan con la aparición de lluvia ácida, pues según el informe ambiental del año 2008 presentado por la Contraloría General de Medellín, se han presentado episodios de lluvia ácida en la ciudad los cuales han sido monitoreados por RedAire.<sup>45</sup> El producto de este fenómeno en Medellín, puede observarse en el deterioro del patrimonio cultural y arquitectónico, así como en las edificaciones públicas y de propiedad privada.<sup>45</sup> Aunque todavía no se miden los efectos adversos que las lluvias ácidas generan sobre los ecosistemas acuáticos y terrestres en el municipio, probablemente la dinámica natural de éstos ha sido alterada, debido a la reducción de las condiciones de acidez en el suelo y/o en el agua, lo cual desequilibra los procesos metabólicos, respiratorios y reproductivos de los organismos y microorganismos que allí habitan.<sup>46</sup>

Por lo anterior esta investigación estudiará ¿Cuál es la relación entre la contaminación atmosférica por material particulado y la mortalidad por enfermedades cardiorespiratorias en Medellín durante los años 1980-2010?



**Figura 1. Diagrama de factores relacionados con la contaminación atmosférica por material particulado en Medellín**

### 3. Justificación

La contaminación atmosférica por material particulado, está afectando de manera significativa la calidad de vida de los habitantes de Medellín, lo cual ha contribuido con el aumento de la morbilidad y la mortalidad de la población.<sup>33</sup>

Este trabajo permitirá conocer la relación entre la contaminación atmosférica por material particulado y la mortalidad causada por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, para evaluar la efectividad de las medidas adoptadas y puestas en marcha por parte de las autoridades sanitarias y ambientales de la ciudad; puesto que las autoridades de salud pública han documentado que en Medellín las enfermedades como afecciones agudas de las vías respiratorias superiores son, de forma constante, las causas más frecuentes de consulta externa en la población<sup>47</sup> y además han revelado que después de las agresiones, los hombres en la ciudad mueren por enfermedades del corazón, respiratorias y cerebrovasculares; seguidas por los accidentes de tránsito, tumores de pulmón y de tráquea y neumonía. En el caso de las mujeres las cifras de mortalidad están representadas por enfermedades del corazón, enfermedades cerebrovasculares, respiratorias y tumores.<sup>48</sup>

Esta investigación servirá como base para la toma de decisiones y la implementación de acciones efectivas como planes, programas y proyectos, para el mejoramiento de la calidad del aire y por consiguiente del ambiente, ya que se evidencia poco interés en la aplicación de medidas de control por parte de las autoridades ambientales; pues según un estudio sobre contaminación atmosférica y efectos sobre la salud de la población de Medellín y el Área Metropolitana, el material particulado respirable se ha elevado 3,5 veces en los últimos años (70  $\mu\text{m}$  en promedio), sobrepasando en gran manera los límites permisibles establecidos por la OMS (20  $\mu\text{m}$ ) y la tasa de mortalidad por enfermedades respiratorias se incrementó en un 25 %.<sup>49</sup>

A futuro aportará a la disminución de los costos de atención en salud, puesto que, según el Banco Mundial en el año 2007 se calculó que en el país estos costos anualmente ascendían a 520 miles de millones de pesos por enfermedades respiratorias y a 980 miles de millones de pesos por las enfermedades cardiovasculares y cáncer de pulmón.<sup>50</sup> Beneficiará específicamente a la población de Medellín al ser un referente para mejorar la calidad del aire y a su vez mitigar los daños en su salud.

## **4. Objetivos**

### **4.1 Objetivo general**

Estimar la relación entre la contaminación atmosférica por material particulado y la mortalidad por enfermedades cardiorespiratorias en Medellín, durante los últimos 30 años.

### **4.2 Objetivos específicos**

- Identificar los niveles de contaminación atmosférica por material particulado reportados por RedAire para los años 1980-2010.
- Estudiar la tendencia de la contaminación del aire por material particulado en Medellín durante el período 1980 – 2010.
- Identificar los datos de mortalidad por enfermedades respiratorias, cardiovasculares y cáncer de pulmón en Medellín para los años 1980-2010.
- Estudiar la tendencia de la mortalidad por enfermedades cardiorespiratorias en Medellín para el período 1980-2010.
- Analizar la relación entre la contaminación por material particulado y la mortalidad por enfermedades cardiorespiratorias para los años 1980-2010.

## **5. Marcos de referencia**

### **5.1 Marco Geográfico**

El municipio de Medellín, está localizado en el Valle de Aburrá, en el centro del Departamento de Antioquia y capital del mismo. Hace parte del Área Metropolitana junto con otros nueve municipios.<sup>51</sup>

Medellín es la segunda ciudad en importancia de Colombia, está ubicada a 1.475 m.s.n.m y posee una extensión de 105 km<sup>2</sup> de suelo urbano, 270 de suelo rural y 5,2 de suelo para expansión.<sup>52</sup> Situada en la Cordillera Central y atravesada por el río Medellín, limita por el norte con los municipios de Bello, Copacabana y San Jerónimo; por el sur con Envigado, Itagüí, La Estrella y El Retiro; por el oriente con Guarne y Rionegro y por el occidente con Angelópolis, Ebéjico y Heliconia.<sup>52</sup>

Para el 2005, la ciudad contaba con un total de 2'499.080 habitantes, representados en el 67% del total metropolitano. Según las proyecciones del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) al 2020 la población de Medellín se incrementará en 434.014 personas, es decir en un promedio anual de 28.934 habitantes y su tasa de crecimiento total media anual será de 1,067%.<sup>51</sup>

Económicamente Medellín es una ciudad reconocida como uno de los principales centros financieros, industriales, comerciales y de servicios del país, primordialmente en los sectores textil, confecciones, metalmecánico, eléctrico y electrónico, telecomunicaciones, automotriz, alimentos y salud.<sup>52</sup>

### **5.2 Marco conceptual**

#### **5.2.1 Generalidades de la contaminación atmosférica**

La contaminación atmosférica puede definirse como la presencia de sustancias, organismos o formas de energía en el aire, que en determinadas cantidades y tiempo de exposición pueden causar daño a la salud humana, los recursos naturales y alterar el equilibrio ecológico.<sup>53</sup>

Según Korc la contaminación del aire es un problema agudo, que al ser acumulativo puede tornarse crónico.<sup>54</sup>

Los contaminantes atmosféricos pueden clasificarse en primarios y secundarios. Los primarios son aquellos que permanecen en la atmósfera como fueron emitidos, entre los cuales pueden mencionarse el material particulado (MP), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), hidrocarburos y metales pesados.<sup>53</sup> Los secundarios son producto de las reacciones de los contaminantes primarios en la atmósfera, tales como el ozono ( $\text{O}_3$ ), ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), los compuestos orgánicos volátiles (COVs) y el smog fotoquímico.<sup>53</sup>

La Environmental Protection Agency (EPA), ha establecido seis contaminantes comunes entre primarios y secundarios, conocidos como “contaminantes criterio”, denominados así porque son regulados mediante el desarrollo de criterios de salud, basados en directrices científicas; estos son el MP, ozono a nivel del suelo, el monóxido de carbono, óxidos

de azufre, óxidos de nitrógeno y plomo, los cuales se consideran perjudiciales para la salud y el medio ambiente y que además pueden causar daños a la propiedad; sin embargo de estos “contaminantes criterio” el material particulado y el ozono a nivel del suelo son las amenazas para la salud más relevantes.<sup>55</sup>

### **5.2.2 Material particulado**

“Se refiere a las pequeñas partículas sólidas o líquidas que flotan en el aire. Estas partículas pueden estar compuestas por diferentes sustancias, como carbón, azufre, nitrógeno y compuestos metálicos”.<sup>56</sup> Por lo tanto, tiene que ver con gran variedad de fracciones de distintos tamaños, morfologías y composición química.<sup>57</sup>

Las partículas suspendidas totales (PST), abarcan contaminantes primarios como el polvo y hollín y contaminantes secundarios como partículas líquidas producidas por la condensación de vapores.<sup>58</sup> Debido a la irregularidad de forma, densidad, composición, estructura y potencial de depósito en el sistema respiratorio, el material particulado se caracteriza según su diámetro aerodinámico.<sup>59</sup> De allí que el material particulado, no solo incluye partículas totales en suspensión (PST) o todas aquellas rodeadas por aire; sino también  $\text{MP}_{10}$  (MP con diámetro aerodinámico mediano menor de 10  $\mu\text{m}$ ),  $\text{MP}_{2,5}$  (MP con diámetro aerodinámico mediano inferior a 2,5  $\mu\text{m}$ ), partículas finas y ultrafinas, escape de diesel, ceniza de carbón, polvos minerales (carbón, asbesto, piedra caliza, cemento), polvos metálicos y humos (zinc, cobre, hierro, plomo), neblinas ácidas (ácido sulfúrico),

partículas de fluoruro, pigmentos de pintura, partículas de plaguicidas, carbón negro, humo de petróleo, entre otras.<sup>57</sup>

El MP puede tener efectos en la salud y bienestar de las personas. Contribuye a aumentar las enfermedades respiratorias e incrementa los efectos de otras enfermedades cardiovasculares.<sup>58</sup> Puede causar cáncer, corrosión, destrucción de la vida vegetal y generar molestias, tales como la acumulación de suciedad; además de interferir con la luz solar, produciendo smog y neblina y actuar como superficies catalíticas para la reacción de productos químicos adsorbidos.<sup>57</sup>

### **5.2.2.1 Partículas menores a 10 micras (PM<sub>10</sub>)**

También denominadas “Partículas gruesas inhalables”,<sup>60</sup> definidas como aquellas partículas sólidas o líquidas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas y cemento; dispersas en la atmósfera uniformemente permaneciendo en el aire por minutos u horas, y cuyo diámetro varía entre 2,5 y 10  $\mu\text{m}$  (1 micrómetro corresponde la milésima parte de 1 milímetro). Formadas en su mayoría por compuestos inorgánicos como silicatos y aluminatos, metales pesados y material orgánico asociado a partículas de carbono (hollín). Se caracterizan por poseer un pH básico debido a la combustión no controlada de materiales.<sup>61</sup> Elementos biológicos como las bacterias, el polen y las esporas también se pueden encontrar en las dichas partículas.<sup>57</sup>

Las partículas gruesas se generan normalmente de manera mecánica por trituración o molienda y, a menudo están dominadas por el polvo suspendido y material de la corteza de vías pavimentadas o sin pavimentar o de la construcción, la agricultura y las actividades mineras.<sup>62</sup>

La exposición prolongada o repetitiva a las PM<sub>10</sub> puede provocar efectos nocivos en el sistema respiratorio de la persona, no obstante son menos perjudiciales que las PM<sub>2.5</sub> ya que al tener un mayor tamaño, no logran atravesar los alveolos pulmonares, quedando retenidas en las vías respiratorias superiores, como la nariz y la garganta.<sup>62</sup>

Actualmente la concentración de PM<sub>10</sub> es empleada como indicador de calidad del aire ambiente, en reemplazo del material particulado en suspensión total (PST) que se empleaba anteriormente.<sup>59</sup>

### **5.2.2.2 Partículas menores a 2,5 micras (PM<sub>2,5</sub>)**

Conocidas como “partículas finas”, se producen a partir de todo tipo de combustión, incluyendo automóviles, plantas de energía, quema de madera, incendios forestales, quemas agrícolas, y algunos procesos industriales.<sup>63</sup> Estas partículas también se forman a partir de compuestos gaseosos tales como dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, o compuestos orgánicos.<sup>62</sup>

Las partículas finas se componen generalmente de compuestos de sulfato, nitrato, cloruro y de amonio, carbono orgánico y metales como el plomo. Dichas partículas finas pueden permanecer en la atmósfera durante días y semanas y viajar a través de la atmósfera de cientos a miles de kilómetros.<sup>62</sup>

Generalmente, el PM<sub>2,5</sub> se considera más nocivo que el PM<sub>10</sub>, debido a que este se puede acumular en el sistema respiratorio penetrando en él profundamente<sup>64</sup> y al ser inhalado puede afectar el corazón, los pulmones y causar efectos graves para la salud.<sup>60</sup>

### **5.2.2.3 Medición de material particulado**

La medición de los atributos o estado del aire se conoce como medición de la calidad del aire. Esta medición puede llevarse a cabo a través de diversos métodos que se agrupan de acuerdo a sus principios de medición.<sup>65</sup> La Resolución 2448 de 2010 del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), establece los métodos de referencia de medición de material particulado.<sup>66</sup>

- Método de referencia para la determinación de material particulado suspendido (PST) en la atmósfera (Método de alto volumen)

Este método proporciona una medición de la concentración másica del material particulado suspendido total (PST) en el aire ambiente para determinar el cumplimiento de los niveles máximos permisibles establecidos en la norma de calidad del aire o nivel de inmisión.<sup>67</sup>

Un muestreador de aire, ubicado correctamente en un sitio de medición, toma una cantidad medida de aire ambiente, a través de la cubierta (inlet) y un filtro durante un periodo de muestreo de 24 horas (nominal). La tasa de flujo del muestreo y la geometría de la cubierta favorecen la recolección de partículas en el rango de 25-

50  $\mu\text{m}$  (diámetro aerodinámico), dependiendo de la velocidad y dirección del viento. (3) Los filtros usados deben tener una eficiencia mínima de recolección del 99% para partículas de 0.3  $\mu\text{m}$  partículas.<sup>67</sup>

El volumen de aire recogido es determinado a través de la medición del caudal y el tiempo de toma de muestra, corrigiéndolo a las condiciones de referencia (25 °C y 760 mm Hg). La concentración de material particulado en el aire se obtiene dividiendo el valor de la masa de material pesada y el volumen de aire total recogido.<sup>68</sup>

- Método de referencia para la determinación de los niveles de  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$

El método de referencia para determinar la cantidad de  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  es el gravimétrico. En este método el aire se hace atravesar por un filtro durante un tiempo dado a caudal fijo, lo que retiene las partículas presentes.

Posteriormente, un cabezal de corte selecciona la fracción del material particulado que interese ( $\text{PM}_{10}$  o  $\text{PM}_{2.5}$ ). La concentración del contaminante se obtiene restando el peso del filtro tras el muestreo y previamente al mismo (en blanco) y dividiendo por el volumen total del muestreo se obtiene la concentración.<sup>68</sup>

Esta medición se realiza por medio de un equipo denominado muestreador de alto volumen o Hi-Vol, el cual consta básicamente de una bomba de succión, un portafiltros, un dispositivo medidor del flujo de aire y un programador de tiempo de muestreo.<sup>69</sup>

### **5.2.3 Fuentes de contaminación**

La contaminación del aire es generada por miles de fuentes de emisión que van desde chimeneas industriales y vehículos automotores hasta el uso de productos de limpieza y pinturas. Incluso la vida animal y vegetal puede contribuir con este fenómeno de contaminación del aire. En general, las fuentes de emisión se clasifican en naturales y antropogénicas.<sup>70</sup>

#### **5.2.3.1 Fuentes naturales**

Representan solo una pequeña parte del total de contaminantes emitidos a la atmósfera, entre las cuales se encuentran las erupciones volcánicas con la emisión de derivados de azufre y las fuentes geológicas, en relación a gases y vapores procedentes del suelo.<sup>53</sup>

A este grupo también se suman los incendios forestales, las tolveneras y los océanos que emiten de manera continua a la atmósfera aerosoles en forma de partículas de sal, las cuales son corrosivas para los metales y pinturas. Las vegetación, aunque participa de manera determinante para la vida en el mundo, constituyen la mayor fuente de hidrocarburos.<sup>71</sup>

### **5.2.3.2 Fuentes antropogénicas**

Estas están conformadas por las actividades industriales, el uso de automóviles y otros medios de transporte, los diferentes procesos de manufactura y la quema de basura producen diversos compuestos, incluyendo gases y humos, que contaminan el aire. Estas fuentes pueden ser de dos tipos, fijas y móviles.<sup>53</sup>

- Fuentes fijas

Operan en un punto fijo, es decir, el foco de emisión no se desplaza en forma autónoma en el tiempo; un ejemplo de ellas son las chimeneas industriales y domésticas.

Las fuentes fijas a su vez pueden ser puntuales o difusas (dispersas). Las fuentes fijas puntuales son aquellas que emiten contaminantes al aire por ductos o chimeneas y las fuentes fijas difusas se refiere a que los focos de emisión de una fuente fija se dispersan en un área, por razón del desplazamiento de la acción causante de la emisión, muestra de ello, son las quemas abiertas controladas en zonas rurales o la minería.<sup>70</sup>

- Fuentes móviles

Se definen como aquellas que pueden desplazarse en forma autónoma, emitiendo contaminantes en su trayectoria. Estas fuentes incluyen a los automóviles, autobuses, trenes, camiones y aviones.<sup>70</sup> Estas fuentes emiten contaminantes criterio y otros contaminantes peligrosos.<sup>71</sup>

La principal fuente móvil de contaminación del aire es el automóvil, pues produce grandes cantidades de monóxido de carbono. Las emisiones de los automóviles también contienen plomo y trazas de algunos contaminantes peligrosos.<sup>71</sup>

Las fuentes que involucran una combinación de fuentes móviles y fijas como son las zonas urbanas, se denominan fuentes compuestas. También se conocen las fuentes indirectas, entre las cuales están carreteras, centros comerciales y complejos deportivos entre otros.<sup>72</sup>

#### **5.2.4 Enfermedades producidas por contaminantes ambientales**

Numerosas enfermedades y condiciones humanas se han relacionado con la exposición a contaminantes ambientales, algunos con más fuerza que otros. La identificación de las enfermedades que podrían estar asociadas con contaminantes ambientales, y la identificación de las fuentes de datos disponibles para ello, es parte clave de los esfuerzos para caracterizar mejor la relación entre las exposiciones ambientales y los efectos adversos a la salud.<sup>73</sup>

La EPA ha seleccionado aquellas enfermedades y condiciones que se asocian directamente con la exposición a contaminantes ambientales; teniendo en cuenta que en la mayoría de los casos, los factores de riesgo para desarrollar una enfermedad o condición particular son múltiples y que depende de la magnitud, duración y momento de la exposición.<sup>73</sup>

La selección mencionada anteriormente, abarca dentro de sus categorías generales enfermedades como el cáncer, enfermedades cardiovasculares y enfermedades respiratorias. Las razones de la inclusión de cada uno se destacan a continuación:<sup>73</sup>

##### **5.2.4.1 Cáncer**

El riesgo de cáncer de una persona depende de numerosas variables, como la genética, la exposición a sustancias peligrosas y opciones sobre estilos de vida relacionados con aspectos como el consumo de alcohol, tabaquismo y actividad física.<sup>74</sup>

Algunas exposiciones a contaminantes ambientales se conocen como factores de riesgo para ciertos tipos de cáncer. Entre estos se incluyen la exposición al radón, asociada con cáncer de pulmón y el arsénico asociado al cáncer de piel.<sup>73</sup>

La Agencia Internacional de Investigación Oncológica (IARC siglas en inglés) manifestó que la contaminación del aire es un carcinógeno junto con químicos como asbesto, el tabaco y la radiación ultravioleta. Además señaló que este tipo

de contaminación es el carcinógeno ambiental más importante, por encima del tabaquismo pasivo.<sup>74</sup>

#### **5.2.4.2 Enfermedades respiratorias**

Las enfermedades respiratorias crónicas (ERC) son enfermedades crónicas que comprometen al pulmón y/o a las vías respiratorias. Comprenden el asma, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), la rinitis alérgica, las enfermedades pulmonares de origen laboral y la hipertensión pulmonar.<sup>75</sup>

Estudios epidemiológicos y clínicos han demostrado que la contaminación del aire exterior e interior son factores de riesgo para desarrollar afecciones respiratorias, incluyendo síntomas (nariz y garganta) agudos; además contribuyen a la exacerbación de la enfermedad existente (por ejemplo, asma), y las muertes.<sup>76-77</sup>

Las enfermedades respiratorias afectan en mayor proporción a la población adulta mayor de 40 años; su prevalencia puede variar de acuerdo con cada país y región posiblemente diferencias que existan entre los niveles de exposición a factores de riesgo como el consumo de tabaco, la exposición al humo de leña, la contaminación ambiental y la exposición al humo y polvo en los sitios de trabajo. Adicionalmente pueden influir factores genéticos y geográficos y los métodos y criterios utilizados para definir la enfermedad en estudios epidemiológicos.<sup>69</sup>

#### **5.2.4.3 Enfermedades cardiovasculares**

Las enfermedades cardiovasculares (ECV) son producto de trastornos del corazón y los vasos sanguíneos, tales como las cardiopatías coronarias (ataques cardíacos), las enfermedades cerebrovasculares (apoplejía), el aumento de la tensión arterial (hipertensión), las vasculopatías periféricas, las cardiopatías reumáticas, las cardiopatías congénitas y la insuficiencia cardíaca.<sup>78</sup>

Dichas patologías son la principal causa de muerte en todo el mundo. Cada año mueren más personas por ECV que por cualquier otra causa<sup>78</sup> y son las principales causas de discapacidad prematura y permanente.<sup>73</sup> Los factores de riesgo incluyen el tabaquismo, la presión arterial alta, el colesterol alto, la diabetes, la inactividad física y la mala alimentación. La contaminación del aire exterior y el humo de tabaco también se conocen como factores de riesgo para la enfermedad cardiovascular. En el caso del material particulado se ha demostrado, que es un

factor causal probable en cuanto a la morbilidad de la enfermedad cardiovascular y la mortalidad.<sup>73</sup>

### 5.3 Marco legal

#### 5.3.1 Marco jurídico

En la Tabla 1 se presenta el marco jurídico, el cual abarca Leyes, Decretos y Resoluciones, relacionadas con la prevención y control de la calidad del aire.

**Tabla 1. Marco jurídico**

<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-Ley 2811	Diciembre 10 de 1974 del Congreso de Colombia	Se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. <sup>79</sup>	1.8, 2.75, 1.191
Ley 9	Enero 24 de 1979	Por la cual se dictan Medidas Sanitarias. <sup>79</sup>	41, 42, 43, 43, 44, 45, 48 y 49
Ley 99	Diciembre 22 de 1993	Se crea el Ministerio de Medio Ambiente. En el Título IX se establecen las funciones de las entidades territoriales y de la planificación ambiental. <sup>79</sup>	31, 65
Decreto 979	Abril de 2006	Modifica el decreto 948 de 1995 relacionado con las normas de la calidad del aire, prevención de la contaminación y planes	1 y 3

<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>
		de contingencia; áreas fuente de contaminación. <sup>79</sup>	
Resolución 0610	Marzo 24 de 2010	Modifica la Resolución 601 del 4 de abril 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. <sup>79</sup>	1, 2,10
Resolución 1309	Julio 13 de 2010	Normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera, modificación a la resolución 909 de 2008. <sup>79</sup>	2 y 5

### 5.3.2 Marco normativo

En la Tabla 2 se presenta el marco normativo, el cual abarca convenios y protocolos, relacionados con la prevención, control y vigilancia de la contaminación atmosférica.

**Tabla 2. Marco normativo**

<b>Norma, año e institución</b>	<b>Objeto de la norma</b>
Convenio de Viena, abril 1961.	Busca tomar las medidas apropiadas para proteger la salud humana y el medio ambiente contra los efectos adversos resultantes o que puedan resultar de las actividades humanas

Norma, año e institución	Objeto de la norma
	que modifiquen o puedan modificar la capa de ozono. <sup>80</sup>
Convención Marco de las Naciones Unidas, junio 1992.	Establecer las concentraciones atmosféricas de gases efecto invernadero (GEI), a niveles que impidan que las actividades humanas afecten peligrosamente al sistema climático mundial. <sup>80</sup>
Protocolo de Montreal, septiembre 1997.	Proteger la capa de ozono adoptando medidas preventivas para controlar equitativamente el total de emisiones mundiales de las sustancias que la agotan, con el fin de eliminarlas, sobre la base de los adelantos en los conocimientos científicos, teniendo en cuenta aspectos técnicos y económicos. <sup>80</sup>
Protocolo de Kioto, diciembre 1997.	Promover el objetivo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y dar cumplimiento al Mandato de Berlín, en el cual se acordó iniciar un proceso que permitiera adoptar acciones adecuadas para el periodo posterior al año 2000. <sup>80</sup>
Convenio de Estocolmo, mayo 2001.	El Convenio busca que las Partes firmantes identifiquen las existencias, productos, artículos en uso y residuos que contengan o estén contaminados con Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) para gestionarlas de manera ambientalmente racional. La eliminación debe hacerse de tal forma que el contenido de COP sea destruido o transformado irreversiblemente, de forma que no se exhiban características de COP, o

Norma, año e institución	Objeto de la norma
	eliminado de forma ambientalmente racional cuando la destrucción o transformación irreversible no representa la opción medioambiental preferible o su contenido de COP sea bajo. <sup>80</sup>
Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire, marzo 2010.	Guiar el proceso de diseño y operación de los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire. <sup>79</sup>

## **6. Metodología**

### **6.1 Tipo de estudio**

Se realiza un estudio con un enfoque cuantitativo, descriptivo, ecológico retrospectivo, el cual permite describir el impacto de la contaminación atmosférica sobre la salud de la población de Medellín, durante los últimos 30 años (1980-2010).

### **6.2 Diseño de la investigación**

Se realiza una investigación documental, en la cual se obtienen y analizan los datos de los informes y bases de datos proporcionados por RedAire y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

### **6.3 Población Objeto**

Para estudio se tienen en cuenta todos los datos de contaminación atmosférica por MP de todas las estaciones de monitoreo (cinco estaciones) <sup>81</sup> de RedAire distribuidas en el municipio de Medellín; así como las tasas de mortalidad por enfermedades cardiorespiratorias, para cada uno de los 30 años.

### **6.4 Diseño de la muestra**

En esta investigación no es aplicable el cálculo del tamaño de la muestra ni se define una estrategia de muestreo, ya que se realiza una revisión documental y un análisis de los datos, tomando todos los valores de contaminación atmosférica por MP registrados entre 1980 y 2010 e indicadores de mortalidad por enfermedades cardiorespiratorias.

### **6.5 Criterios de inclusión**

Se toman las estaciones de monitoreo para PST, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> que se encuentran en funcionamiento desde 1993 - 2010, ubicadas en el municipio de Medellín. Enfermedades del sistema respiratorio según la clasificación de la CIE-9 (460-519) y según clasificación de la CIE-10 (J00-J99) presentadas entre 1980 y 2010 en el municipio de Medellín, de acuerdo con información generada por el DANE.

## **6.6 Criterios de exclusión**

Otras estaciones que estén ubicadas fuera del municipio de Medellín.

Enfermedades diferentes a las del aparato respiratorio clasificadas en la CIE-9 y CIE-10 que se hayan presentado antes de 1980 y después del 2010 en un municipio diferente a Medellín.

## **6.7 Recolección y análisis de la información**

La información que se recolectó para este estudio, fue generada por RedAire y el DANE.

Para acceder a la información de RedAire se consultaron los boletines anuales a través de los cuales dicha entidad, publica los resultados de las mediciones de la calidad del aire realizadas en las diferentes estaciones de monitoreo, que han sido seleccionadas para el estudio, los cuales permitieron consultar los promedios anuales de la cantidad de PST, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> presente en el aire, para realizar el respectivo análisis de la información.

Además se realizaron interconversiones a través de fórmulas matemáticas validadas por la literatura científica, entre las diferentes formas de MP; puesto que solo desde el año 2008 <sup>82</sup> en la ciudad se empezó a monitorear PM<sub>2.5</sub> y por tanto fue necesario conocer qué cantidad del total de PST equivale a dicho contaminante.

De la base de datos de mortalidad del DANE con base en la clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-9 y CIE-10), se extrae el número de casos de mortalidad por enfermedades del sistema respiratorio.

Se diseña una base de datos en SPSS para ingresar los datos recolectados tales como: año en el que se recolectaron los datos, los valores por tipo de partícula ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ), casos y tasas de mortalidad por enfermedad, entre otros.

Los datos se presentan en tablas y gráficos, para lo cual se utiliza Microsoft Excel y el informe final se elabora en Microsoft Word.

### **6.7.1 Plan de análisis**

Los datos recolectados en cada registro de RedAire y el DANE se digitan. Se realiza una limpieza o depuración para verificar que no haya discrepancias entre los registros consultados y los datos que se han digitado, luego se procede a tabular la información y posteriormente se evalúa su calidad, por medio de la doble digitación. El análisis de la información se realiza en el programa estadístico SPSS y en Microsoft Excel; para la presentación de los datos, se usaron tablas, diagramas de dispersión e histogramas de frecuencias.

### **6.7.2 Tipos de análisis**

Se utilizan técnicas de estadística paramétrica, usando pruebas como el coeficiente de correlación de Pearson y la regresión lineal simple, para explorar el grado de asociación entre el MP presente en la atmósfera (medido como variable numérica individual a nivel de escala) y las tasas de mortalidad por enfermedades cardiorespiratorias (medidas a nivel de escala).

Se realizan análisis bivariados entre el número de casos y las tasas de mortalidad por enfermedades respiratorias, cardiovasculares y cáncer de pulmón con los años y con los niveles de contaminación por MP.

## **6.8 Variables**

La Tabla 3 presenta cada una de las variables que se utilizaron para este estudio, debidamente identificadas y operacionalizadas.

**Tabla 3. Variables.**

<b>Identificación</b>	<b>Definición</b>	<b>Tipo y nivel de medición</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Fuente</b>
Partículas Suspendidas Totales (PST)	Nivel de contaminación por PST en el aire.	Cuantitativa Continua	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Informes de calidad del aire
Partículas menores a 10 micras	Nivel de contaminación por $\text{PM}_{10}$ en el aire.	Cuantitativa Continua	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Informes de calidad del aire
Partículas menores a 2,5 micras	Nivel de contaminación por $\text{PM}_{2,5}$ en el aire.	Cuantitativa Continua	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Informes de calidad del aire
Cáncer de pulmón	Tasa de mortalidad por cáncer de pulmón	Cuantitativa Continua	# De muertes/ cien mil hab.	Base de datos de mortalidad DANE
Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC)	Tasa de mortalidad por EPOC	Cuantitativa Continua	# De muertes/ cien mil hab.	Base de datos de mortalidad DANE
Enfermedades cardiovasculares	Tasa de mortalidad por enfermedades cardiovasculares	Cuantitativa Continua	# De muertes/ cien mil hab.	Base de datos de mortalidad DANE
Mortalidad general	Tasa de mortalidad general.	Cuantitativa Continua	# De muertes/ mil hab.	Base de datos de mortalidad DANE

## 7. Resultados

### 7.1 Contaminación del aire

La contaminación del aire es medida por la cantidad de partículas presentes en la atmósfera. Algunos estudios <sup>83</sup> sobre la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá, reportan datos de las Partículas Suspendidas Totales (PST) desde el año 1976.

**Tabla 4. Conversión de Partículas suspendidas Totales (PST) a Partículas respirables (PM<sub>10</sub>) y Partículas finas (PM<sub>2,5</sub>). Medellín 1980-2010.**

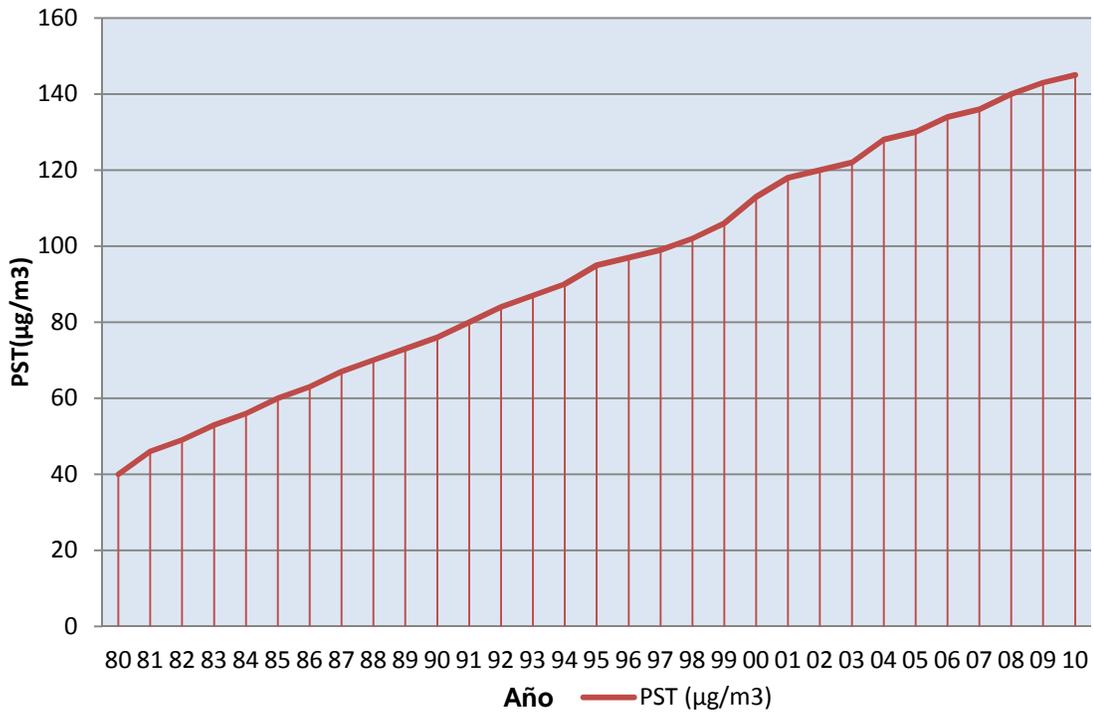
Año	PST (µg/m <sup>3</sup> )	PM10 (µg/m <sup>3</sup> )	PM2,5 (µg/m <sup>3</sup> )
80	40	24	14
81	46	28	17
82	49	29	18
83	53	32	19
84	56	34	20
85	60	36	22
86	63	38	23
87	67	40	24
88	70	42	25
89	73	44	26
90	76	46	27
91	80	48	29
92	84	50	30
93	87	52	31
94	90	54	32
95	95	57	34
96	97	58	35
97	99	59	36
98	102	61	37
99	106	64	38
00	113	68	41
01	118	71	42
02	120	72	43
03	122	73	44
04	128	77	46
05	130	78	47
06	134	80	48
07	136	82	49
08	140	84	50
09	143	86	51
10	145	87	52

Desde el año 2005, el control y vigilancia se concentra en el  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  porque se consideran como mejores indicadores de los efectos adversos sobre la salud.<sup>84</sup> En la Tabla 4, se muestran los niveles de material particulado en Medellín para el período 1980-2010. Los datos incluyen los registros tomados por la Red de Monitoreo para el Valle de Aburrá y se complementan con interpolaciones obtenidas a partir de los estudios y modelos de series de tiempo realizados en la ciudad<sup>85</sup>.

Las conversiones de PST a  $PM_{10}$  y de  $PM_{10}$  a  $PM_{2.5}$  se realizaron utilizando como factor de conversión un valor de 0,6 para ambos casos, teniendo en cuenta los estudios realizados en donde se establecen las fracciones que deben utilizarse para hacer conversiones entre los diferentes tipos de material particulado.<sup>86-87</sup>

## **7.2 Partículas en Suspensión Total (PST)**

El material particulado en Medellín, muestra una tendencia al ascenso durante los últimos 30 años. Los niveles de las partículas suspendidas totales (PST), han aumentado a razón de 3-4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  por cada año. La pendiente para los datos recolectados de PST desde el año 1980 hasta 2010 es B. 3,50 F. 18823 (Figura 2).

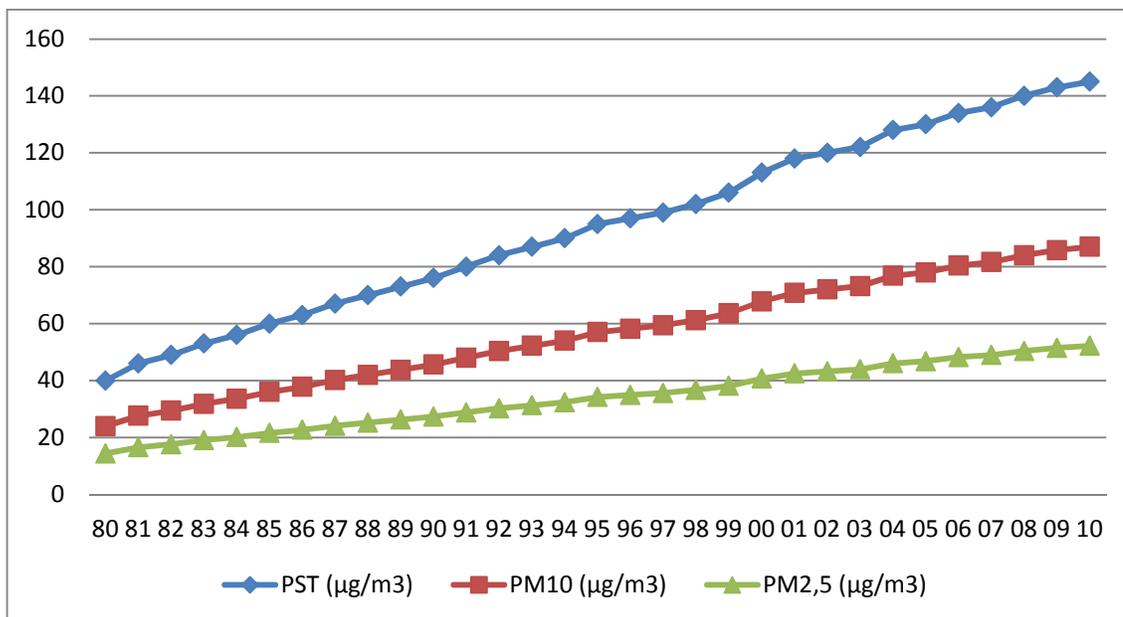


**Figura 2 . Tendencia de la contaminación por PST 1980-2010.**

### **7.3 Partículas respirables (PM<sub>10</sub>) y partículas finas (PM<sub>2,5</sub>)**

Las concentraciones de PM<sub>10</sub> en Medellín varían desde niveles de 24 µg/m<sup>3</sup> hasta 87 µg/m<sup>3</sup>. El incremento de este contaminante es de 2-3 µg/m<sup>3</sup> por año. La pendiente para la serie de datos de PM<sub>10</sub> es B. 2,01 F. 15600,05 (Figura 3).

En el caso de las partículas finas (PM<sub>2,5</sub>) se alcanzan niveles entre 14 y 52 µg/m<sup>3</sup>, con promedio de 35,64. La medición de estas partículas, se inició en la ciudad hace menos de 10 años.



**Figura 3. Comportamiento de la contaminación por PST, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> 1980-2010**

Los valores registrados para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> exhiben una evolución que concuerda con el comportamiento de las partículas en suspensión total, lo que evidencia que estos dos contaminantes también tienen tendencia al aumento.

Los niveles de contaminación atmosférica para partículas respirables (PM<sub>10</sub>) superan los niveles de precaución internacional (50 µg/m<sup>3</sup>) y exceden las directrices establecidas por la Organización Mundial de la Salud, en la cuales se recomienda la necesidad de no sobrepasar los 20 µg/m<sup>3</sup> para la exposición prolongada.

Dichos niveles de precaución para la salud en relación con este contaminante se exceden hasta en un 600%, lo cual lo convierte en un factor de riesgo para la salud de la población y en una prioridad para el control y regulación de emisiones que deben llevar a cabo las autoridades ambientales y sanitarias.

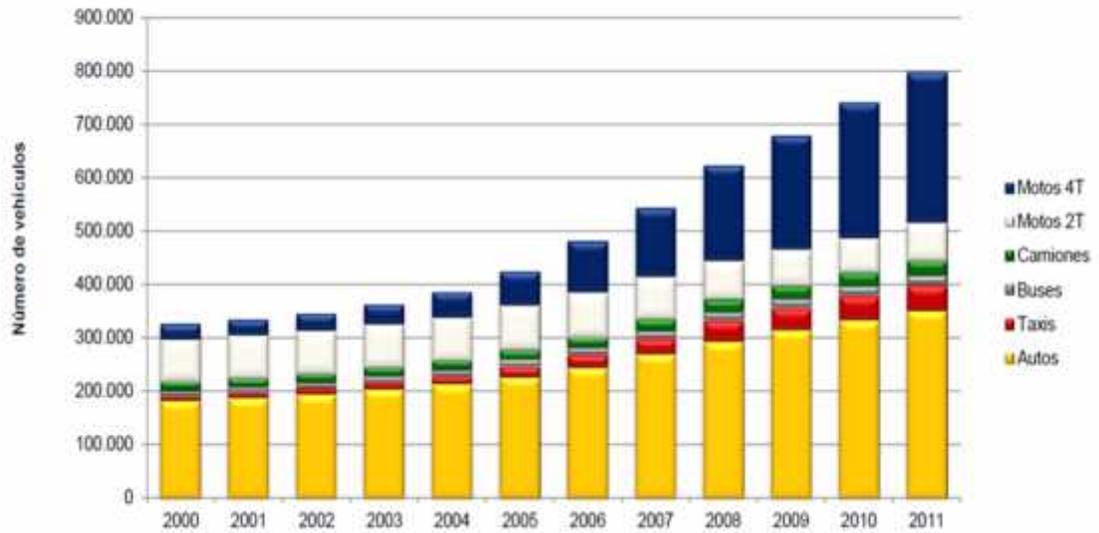
#### 7.4 Crecimiento vehicular y contaminación

El aumento del material particulado en el aire de Medellín, varía en conjunto con el incremento de factores como el aumento de vehículos y motos que transitan por la red vial de la ciudad (Tabla 5). La cantidad de vehículos registrados en las Secretarías de Tránsito de Medellín y su Área Metropolitana da cuenta del crecimiento exponencial de este fenómeno. (Figura 4)

**Tabla 5. Crecimiento del número vehículos y motocicletas en el Área Metropolitana 2000-2011<sup>1</sup>**

<b>Año</b>	<b>Autos</b>	<b>Taxis</b>	<b>Buses</b>	<b>Camiones</b>	<b>Motos</b>	<b>Total</b>
<b>2000</b>	183,4	88	87	17	106,8	<b>482</b>
<b>2001</b>	188,1	93	89	17,2	109,6	<b>497</b>
<b>2002</b>	195	10,3	93	17,4	112,6	<b>428</b>
<b>2003</b>	204,1	12	99	17,8	118,1	<b>451</b>
<b>2004</b>	214,2	14	10,6	18,2	127,9	<b>385</b>
<b>2005</b>	226,1	20	11,4	18,7	146,8	<b>423</b>
<b>2006</b>	244	23,8	12,3	20,0	180,3	<b>480</b>
<b>2007</b>	269,6	28,5	13,5	22,5	207,9	<b>542</b>
<b>2008</b>	293	38,6	14,6	24,6	250,8	<b>622</b>
<b>2009</b>	314,1	41	15,5	25,7	283,7	<b>680</b>
<b>2010</b>	332,9	45,3	16,1	26,6	321,1	<b>742</b>
<b>2011</b>	350,9	46,4	17,3	29,3	353,9	<b>798</b>

\* Cifras del crecimiento del número de vehículos y motocicletas en el Área Metropolitana en miles.

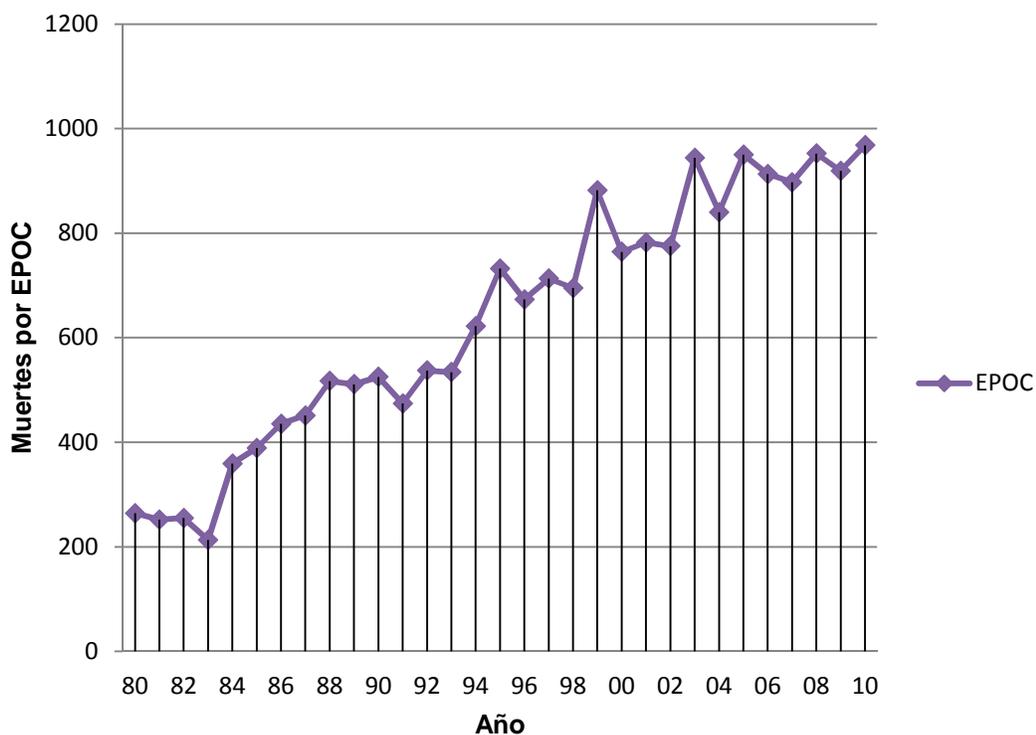


**Figura 4. Crecimiento vehicular en el Valle de Aburrá 2000-2011**  
**Fuente: Área Metropolitana. Inventario de Emisiones del Valle de Aburrá, 2011**

## 7.5 Mortalidad

### 7.5.1 Enfermedad pulmonar obstructiva crónica

En Medellín las cifras de mortalidad por causa de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica es cada vez más alta. Para el año 1980 el número de muertes por EPOC, era de 264, pero para el año 2010 esta cifra se había casi cuadruplicado con 968 casos. (Figura 5)



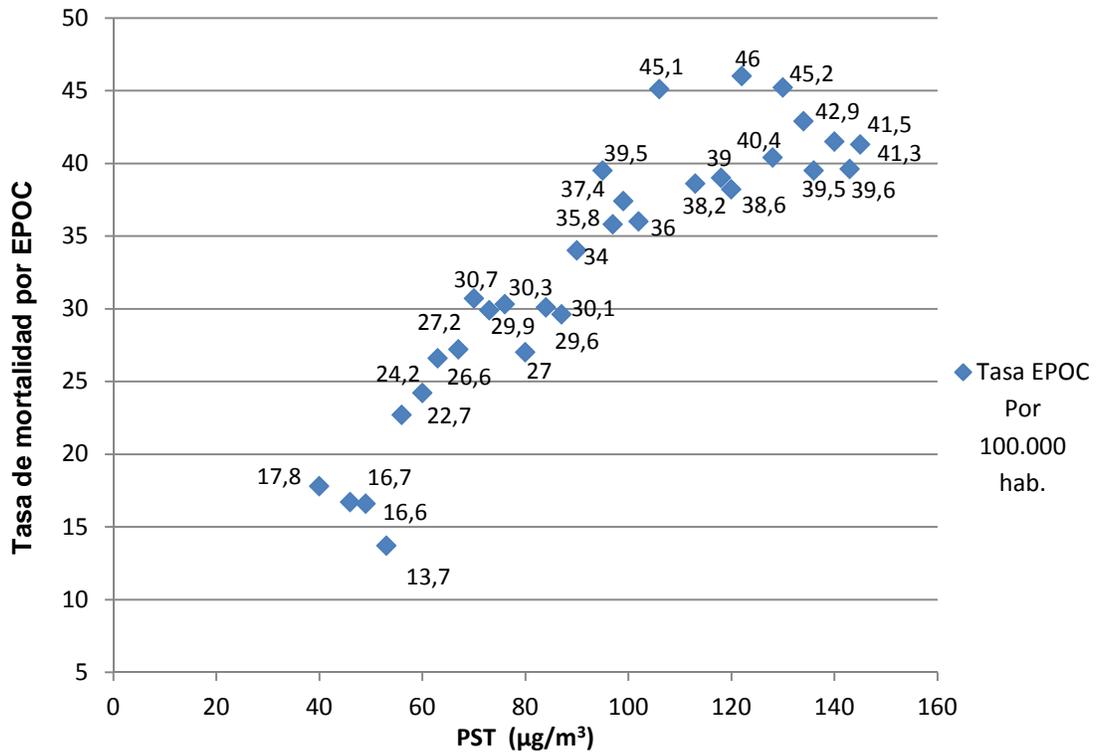
**Figura 5. Número de muertes por enfermedades respiratorias crónicas Medellín. 1980 – 2010**

La tasa mortalidad por enfermedad pulmonar obstructiva crónica en Medellín, viene aumentando en el transcurso de los últimos años, muestra de ello es que en 1980 era de 17,8 por 100 mil habitantes, para el año 2010 este valor había aumentado en un 232%, con cifras de 41,3 por 100 mil habitantes. (Tabla 6).

**Tabla 6. Tasa de mortalidad por Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC).  
Medellín 1980 – 2010**

<b>Año</b>	<b>Población</b>	<b>Casos EPOC</b>	<b>Tasa EPOC</b>
1980	1.485.374	264	17,8
1981	1.510.041	252	16,7
1982	1.534.708	255	16,6
1983	1.559.375	213	13,7
1984	1.584.042	359	22,7
1985	1.608.709	389	24,2
1986	1.633.376	435	26,6
1987	1.658.043	451	27,2
1988	1.682.710	517	30,7
1989	1.707.377	511	29,9
1990	1.732.044	525	30,3
1991	1.756.711	474	27,0
1992	1.781.378	537	30,1
1993	1.806.045	534	29,6
1994	1.830.712	622	34,0
1995	1.855.379	732	39,5
1996	1.880.046	673	35,8
1997	1.904.713	713	37,4
1998	1.929.380	695	36,0
1999	1.954.047	882	45,1
2000	1.978.714	764	38,6
2001	2.003.381	782	39,0
2002	2.028.048	775	38,2
2003	2.052.715	944	46,0
2004	2.077.382	840	40,4
2005	2.214.494	950	45,2
2006	2.239.003	913	42,9
2007	2.265.244	897	39,5
2008	2.291.378	952	41,5
2009	2.317.336	919	39,6
2010	2.343.049	968	41,3

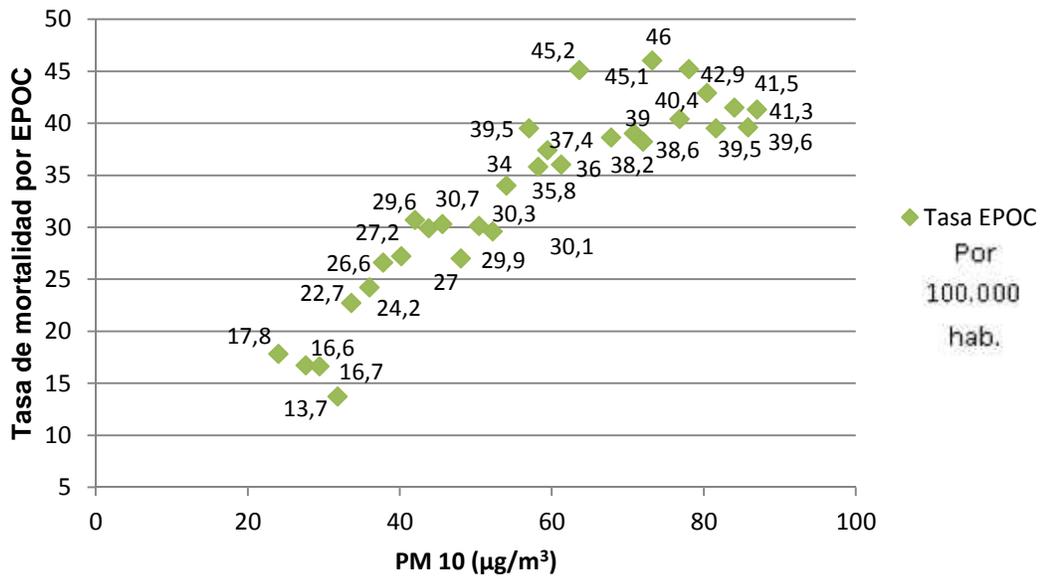
Los datos de material particulado registrados por RedAire entre los años 1980 y 2010 se usaron para estimar una posible asociación con las tasas de mortalidad por EPOC, cáncer de pulmón y enfermedades cardiovasculares en dicho período.



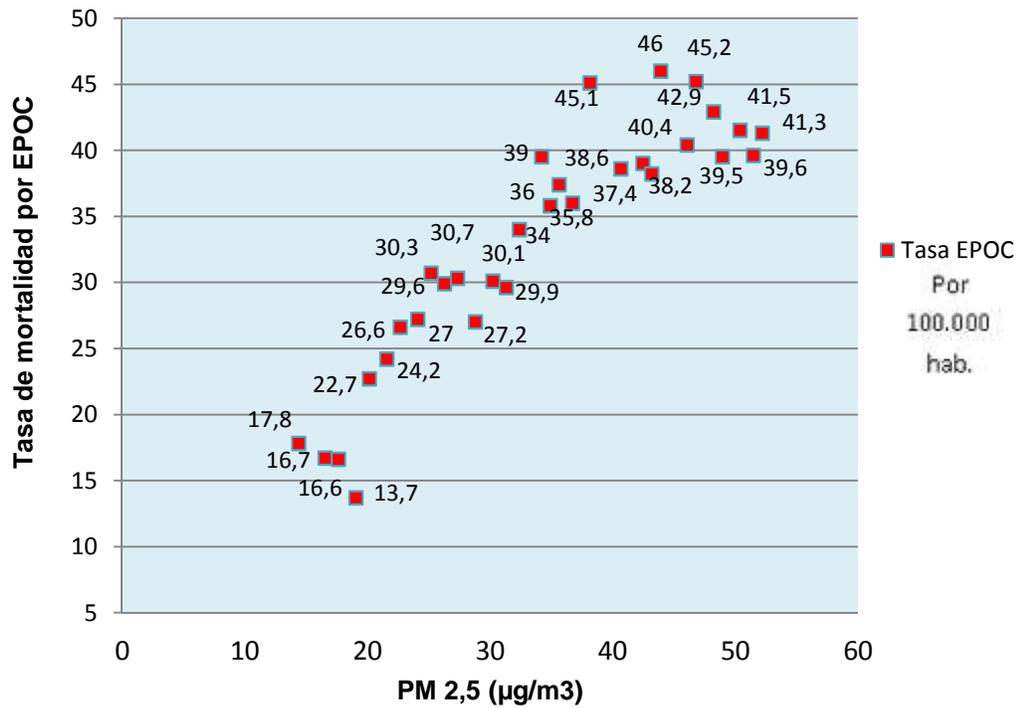
**Figura 6. Niveles anuales de PST y tasa de mortalidad por Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica**

Por cada  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de PST, anualmente la tasa de mortalidad por EPOC, aumenta en 12 muertes por cada 100.000 habitantes. (B12, 3) (Figura 6)

Al analizar el material respirable y el material fino por cada incremento de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  por año de dichos contaminantes, la tasa de mortalidad por EPOC se incrementa en 7 muertes con  $\text{PM}_{10}$  y en 4 muertes con  $\text{PM}_{2,5}$  por cada 100.000 habitantes. (B 7,4; B 4,4) (Figura 7 y 8).

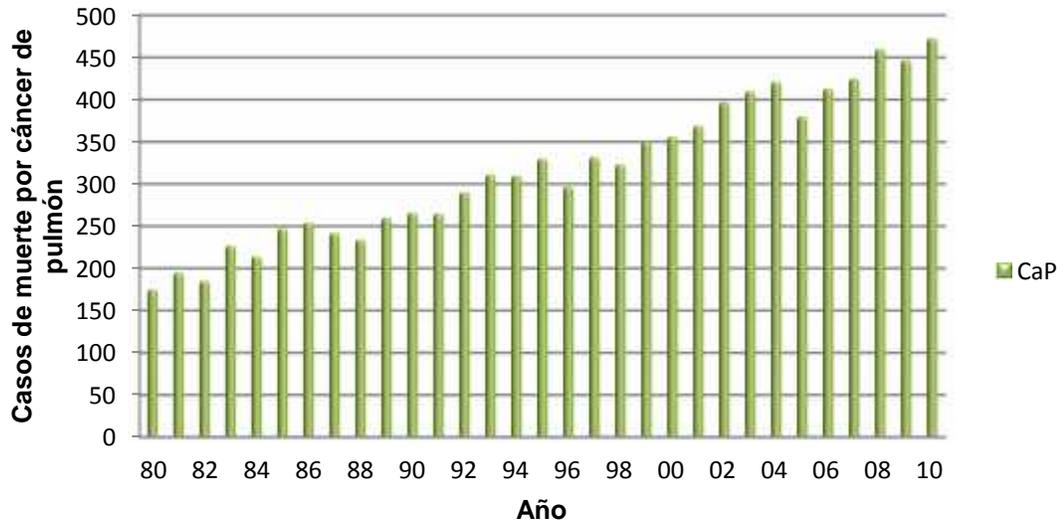


**Figura 7. Niveles anuales de PM<sub>10</sub> y tasa de mortalidad por Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica**



**Figura 8. Niveles anuales de PM<sub>2,5</sub> y tasa de mortalidad por Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica**

### 7.5.2 Cáncer de pulmón



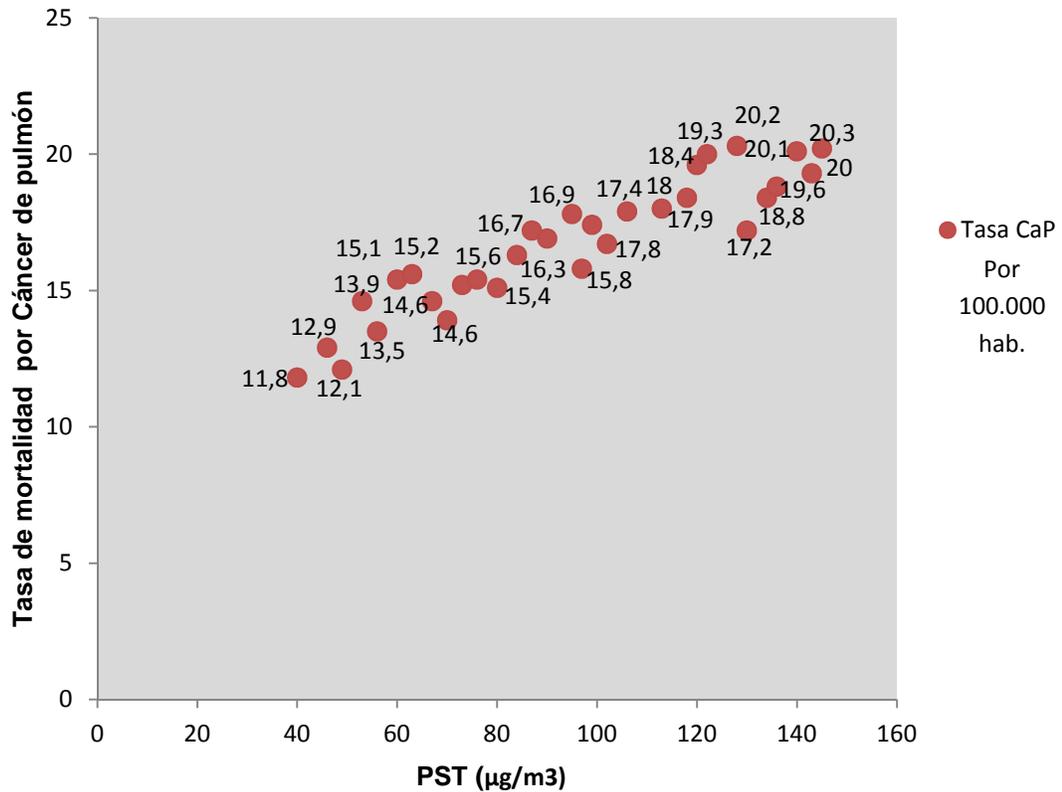
**Figura 9. Número de muertes por cáncer de pulmón. 1980 – 2010**

En Medellín, se presenta un incremento aproximado de 16 casos por cáncer de pulmón al año. Se reportan para el año 2010 cerca de 500 muertes causadas por esta enfermedad. (Figura 9)

**Tabla 7. Tasa de mortalidad por Cáncer de Pulmón. Medellín 1980 – 2010**

<b>Año</b>	<b>Población</b>	<b>Casos CaP</b>	<b>Tasa CaP</b>
1980	1.485.374	175	11,8
1981	1.510.041	195	12,9
1982	1.534.708	185	12,1
1983	1.559.375	227	14,6
1984	1.584.042	214	13,5
1985	1.608.709	247	15,4
1986	1.633.376	254	15,6
1987	1.658.043	242	14,6
1988	1.682.710	234	13,9
1989	1.707.377	260	15,2
1990	1.732.044	266	15,4
1991	1.756.711	265	15,1
1992	1.781.378	290	16,3
1993	1.806.045	311	17,2
1994	1.830.712	310	16,9
1995	1.855.379	330	17,8
1996	1.880.046	297	15,8
1997	1.904.713	332	17,4
1998	1.929.380	323	16,7
1999	1.954.047	350	17,9
2000	1.978.714	356	18,0
2001	2.003.381	369	18,4
2002	2.028.048	397	19,6
2003	2.052.715	410	20,0
2004	2.077.382	421	20,3
2005	2.214.494	380	17,2
2006	2.239.003	413	18,4
2007	2.265.244	425	18,8
2008	2.291.378	460	20,1
2009	2.317.336	447	19,3
2010	2.343.049	473	20,2

Las tasas de mortalidad por cáncer de pulmón en Medellín ascienden desde 11,8 por 100 mil habitantes en 1980 hasta 20,2 en el año 2010, lo que representa un aumento de un 80% en 30 años (Figura 10).



**Figura 10. Niveles anuales de PST y tasa de mortalidad por cáncer de pulmón.**

Un aumento anual de 1 µg/m<sup>3</sup> de PST, representa 3 muertes más por cada 100.000 habitantes para la tasa de mortalidad por cáncer de pulmón. (B 3,2) (Figura 10).

Por cada incremento de 1 µg/m<sup>3</sup> por año de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>, la tasa de mortalidad por cáncer de pulmón se incrementa en 1 y 2 muertes por cada 100.000 habitantes. (B 1,9; B 1,1) (Figura 11 y 12).

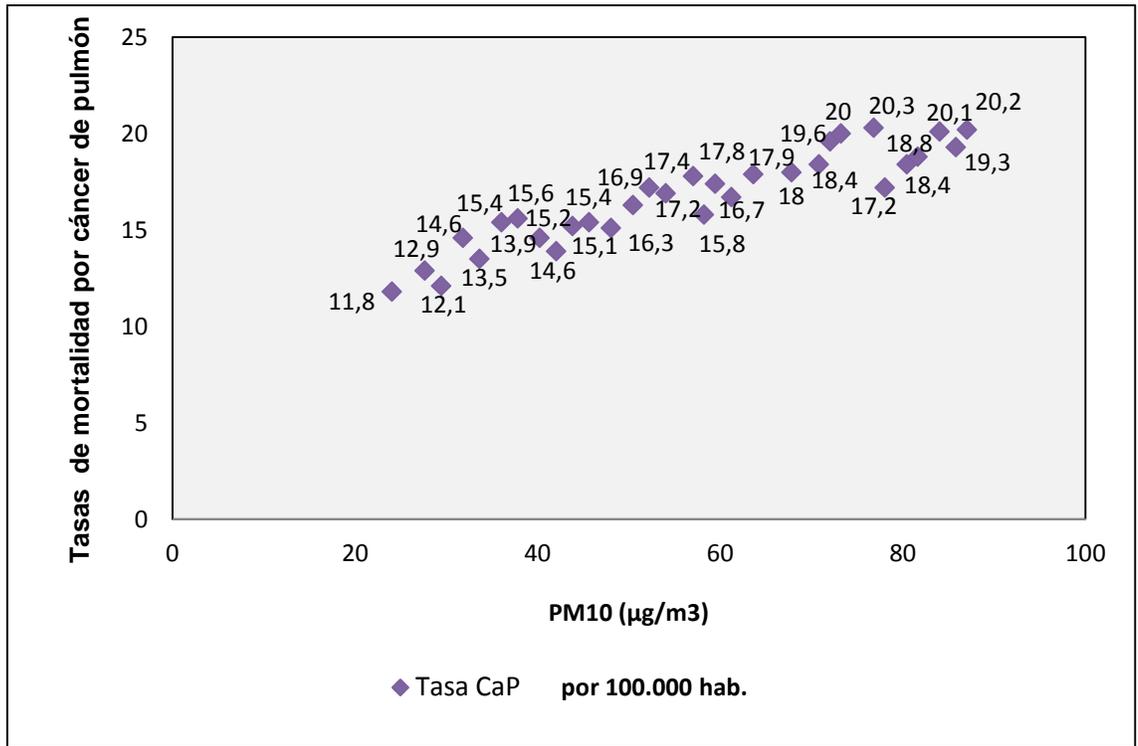
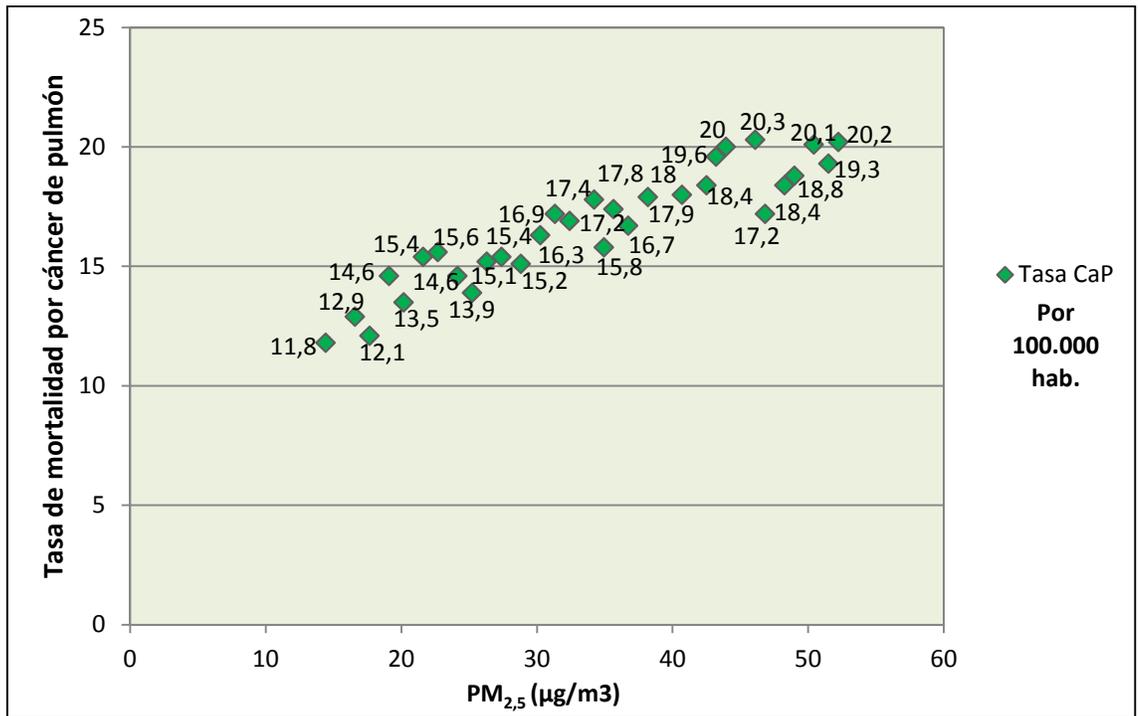


Figura 11. Niveles anuales de PM<sub>10</sub> y tasa de mortalidad por cáncer de pulmón.



**Figura 12. Niveles anuales de PM<sub>2,5</sub> y tasa de mortalidad por cáncer de pulmón.**

**Tabla 8. Número de muertes por afecciones respiratorias bajas en Medellín 1980-2010**

---

<u>Año</u>	<u>Otras ER</u>
1980	394
1981	348
1982	304
1983	306
1984	343
1985	393
1986	421
1987	451
1988	503
1989	498
1990	450
1991	487
1992	535
1993	498
1994	483
1995	482
1996	554
1997	438
1998	439
1999	493
2000	322
2001	405
2002	351
2003	425
2004	485
2005	722
2006	694
2007	682
2008	724
2009	698
2010	735

---

La contaminación del aire también es responsable del desarrollo de enfermedades de las vías respiratorias bajas como bronconeumonía, rinofaringitis, rinitis, laringitis, influenza, entre otras. (Tabla 8)

### 7.5.3 Enfermedades cardiovasculares

Se estima que en el mundo, por cada muerte ocurrida por enfermedades respiratorias atribuidas a la contaminación del aire, pueden presentarse de 1-4 casos de muerte por enfermedades cardiovasculares.<sup>88</sup>

**Tabla 9. Muertes estimadas por enfermedades cardiovasculares.1980-2010**

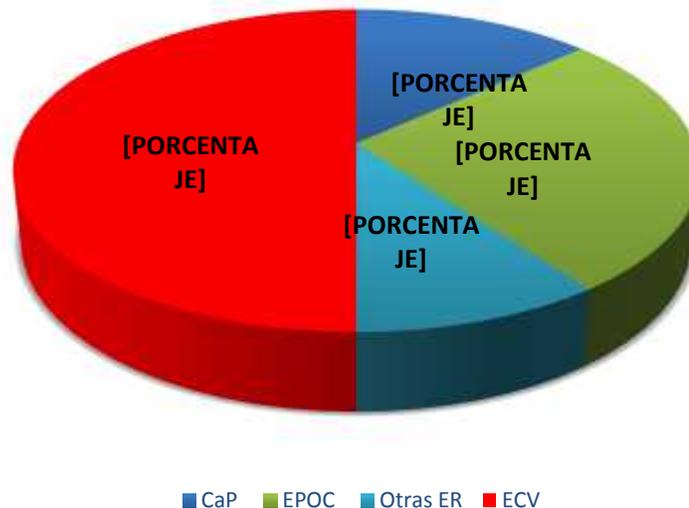
<b>Año</b>	<b>ECV</b>
1980	636
1981	621
1982	592
1983	593
1984	745
1985	833
1986	900
1987	919
1988	1003
1989	1020
1990	1016
1991	983
1992	1095
1993	1094
1994	1174
1995	1303
1996	1247
1997	1264
1998	1238
1999	1479
2000	1281
2001	1354
2002	1348
2003	1567
2004	1504
2005	1691
2006	1673
2007	1663

2008	1774
2009	1715
2010	1809

La Tabla 9 muestra un estimado de las muertes por enfermedades cardiovasculares, calculadas a partir de los datos de la mortalidad por enfermedades respiratorias y cáncer de pulmón, obtenidos para los 30 años.

**Tabla 10. Distribución de la mortalidad por enfermedades producidas por la contaminación del aire según causa. Medellín. 1980 – 2010**

CAUSA	CASOS	%
<b>CaP</b>	9858	13
<b>EPOC</b>	19737	27
<b>Otras ER</b>	7532	10
<b>ECV</b>	37127	50



**Figura 13. Distribución porcentual de la mortalidad por enfermedades causadas por la contaminación del aire. 1980 – 2010**

Se estima que el total de muertes producidas por la contaminación del aire durante los años 1980 y 2010, es de 74.253 de las cuales el 40% corresponde a EPOC y cáncer de pulmón. El porcentaje restante a otras enfermedades respiratorias y enfermedades cardiovasculares.

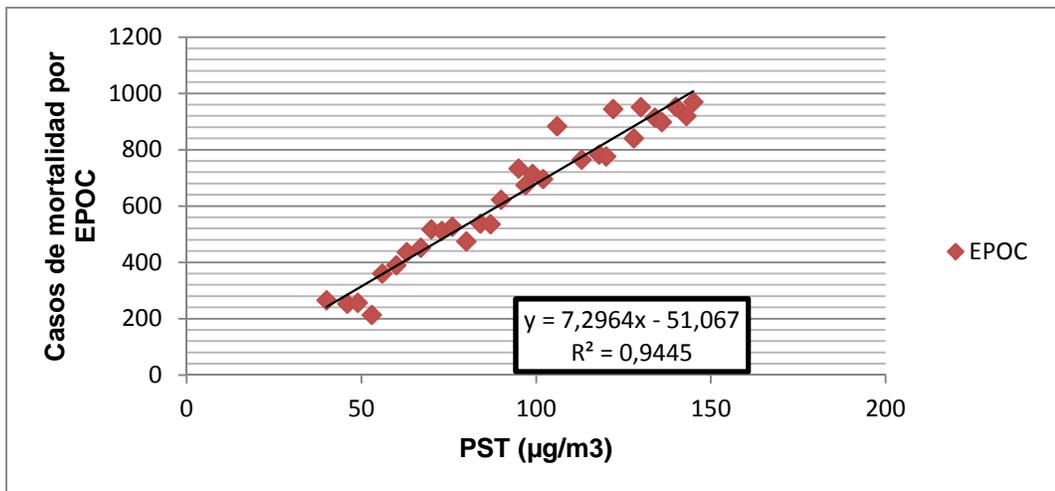
## 7.6 Material particulado y mortalidad por EPOC

El estudio de la relación entre el material particulado y la tasa de mortalidad por enfermedad pulmonar obstructiva crónica, muestra un coeficiente de correlación tanto para PST, como para  $PM_{10}$  y  $PM_{2,5}$  de R 0,910 con coeficiente de determinación  $R^2$  0,82 indicando que el 82,2% de la variabilidad en la mortalidad por enfermedad pulmonar obstructiva crónica, es explicada por el nivel de material particulado en el aire. (Tabla 11)

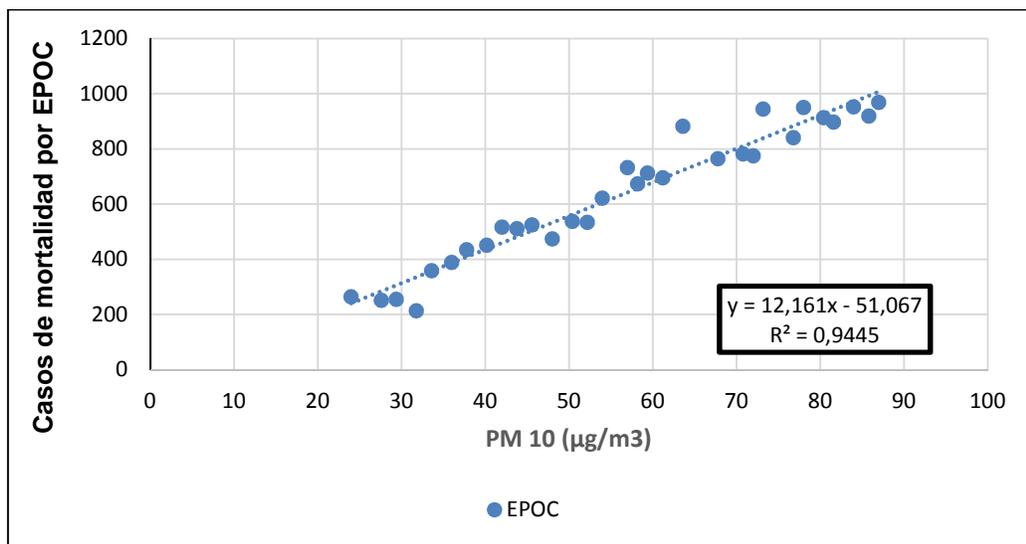
**Tabla 11. Correlación y regresión lineal entre material particulado PST,  $PM_{10}$  y  $PM_{2,5}$  y tasa de mortalidad por enfermedad pulmonar obstructiva crónica**

Variables	R	R2	Sig.	t
PST/Tasa EPOC	0,910	0,822	0,000	3,878
$PM_{10}$ /Tasa EPOC	0,910	0,821	0,000	3,860
$PM_{2,5}$ /Tasa EPOC	0,910	0,822	0,000	3,820

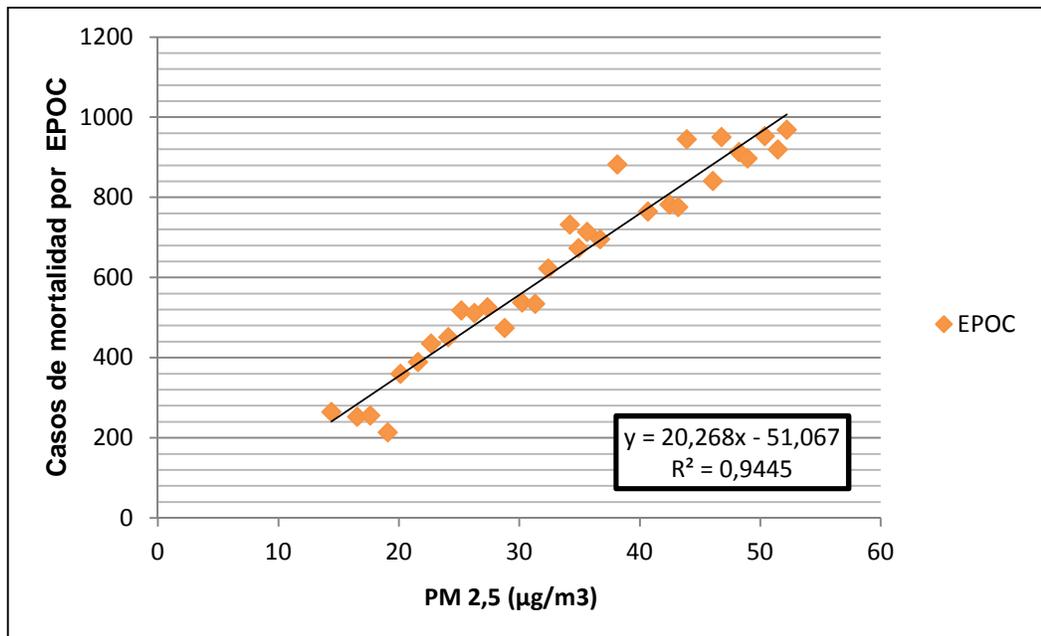
Al estudiar la relación entre el material particulado y el número de muertes por enfermedad pulmonar obstructiva crónica, se obtuvo una pendiente para PST de B 7,29, que indica que por cada incremento de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de PST por año, el número de muertes por enfermedades respiratorias crónicas aumenta en 7 casos aproximadamente (Figura 15).



**Figura 14. Correlación entre los casos mortalidad por enfermedad pulmonar obstructiva crónica y PST 1980-2010**



**Figura 15. Correlación entre los casos de mortalidad por enfermedad pulmonar obstructiva crónica y PM<sub>10</sub> 1980-2010**



**Figura 16. Correlación entre los casos de mortalidad por enfermedad pulmonar obstructiva crónica y PM<sub>2,5</sub> 1980-2010**

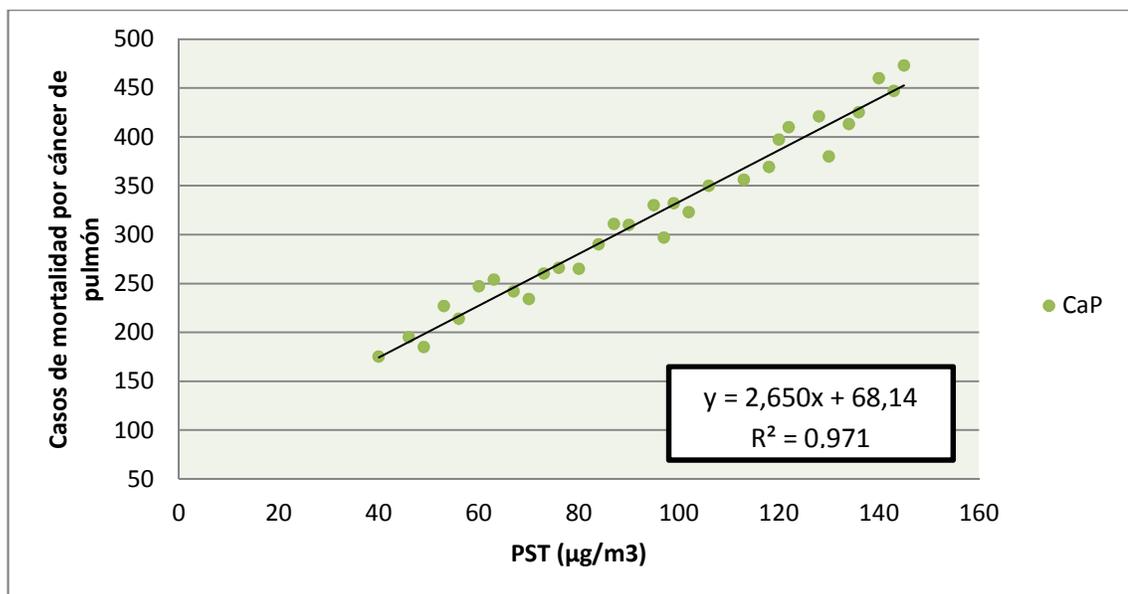
La relación entre el material particulado respirable (PM<sub>10</sub>) y el material particulado fino (PM<sub>2,5</sub>), con los casos de mortalidad por EPOC, arrojan una pendiente para PM<sub>10</sub> de B 12,2 y en el caso de PM<sub>2,5</sub> de B 20,8, lo que significa que por cada incremento de 1 µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> por año, el número de muertes por EPOC aumenta en 12 y 20 casos respectivamente (Figura 16 y 17).

### **7.7 Material particulado y mortalidad por cáncer de pulmón**

Para el caso de la asociación entre el material particulado y las tasas de mortalidad por cáncer de pulmón, se obtiene un coeficiente de regresión tanto para PST, como para PM<sub>10</sub> de R 0,930 y para PM<sub>2,5</sub> de R 0,929. (Tabla 11)

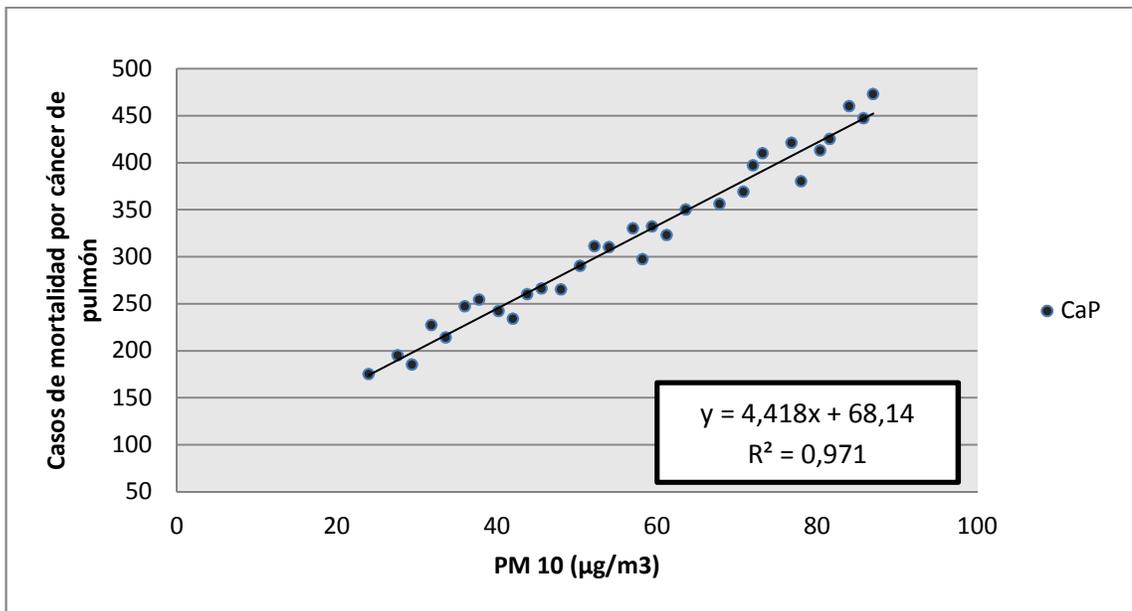
**Tabla 12. Correlación y regresión lineal entre material particulado PST, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> y tasa de mortalidad por cáncer de pulmón.**

Variables	R	R2	Sig	t
PST/Tasa CaP	0,930	0,860	0,000	13,634
PM <sub>10</sub> /Tasa CaP	0,930	0,861	0,000	13,670
PM <sub>2,5</sub> /Tasa CaP	0,929	0,859	0,000	13,549

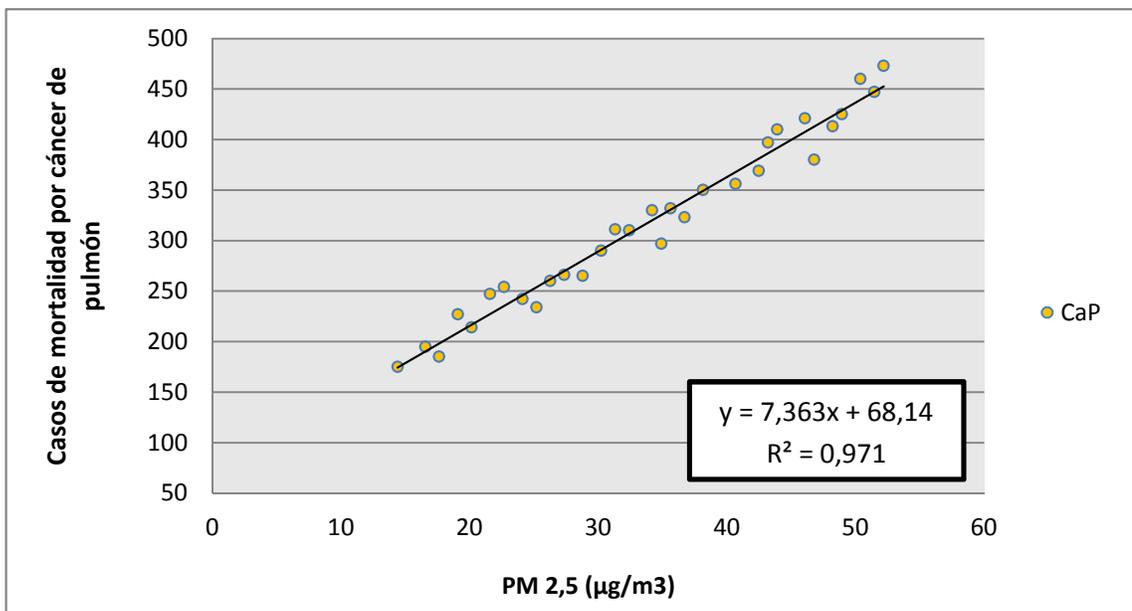


**Figura 17. Correlación entre los casos de mortalidad por cáncer de pulmón y PST 1980-2010**

Al relacionar el material particulado y el número de muertes por cáncer de pulmón, se obtiene una pendiente para PST de B 2,7 lo que significa, que por cada incremento de 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PST por año, el número de muertes por cáncer de pulmón aumenta en 3 casos aproximadamente (Figura 18).



**Figura 18. Correlación entre los casos de mortalidad por cáncer de pulmón y PM<sub>10</sub> 1980-2010**



**Figura 19. Correlación entre los casos de mortalidad por cáncer de pulmón y PM<sub>2,5</sub> 1980-2010**

Las pendientes obtenidas para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> en relación con el cáncer de pulmón son de B 4,4 y B 7,4 lo que se traduce en que por cada incremento de 1 µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> la mortalidad por cáncer de pulmón aumenta en 4 y 7 casos por año respectivamente. (Figura 19 y 20)

### 7.8 Material particulado y mortalidad por enfermedades cardiovasculares

Al relacionar los niveles de material particulado con los casos de muerte por enfermedades cardiovasculares, se alcanza el mismo valor en el coeficiente de regresión para PST, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> de R 1,000. (Tabla 12)

**Tabla 13. Correlación y regresión lineal entre material particulado PST, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> y casos de mortalidad por enfermedades cardiovasculares.**

<b>Variables</b>	<b>R</b>	<b>R2</b>	<b>Sig</b>	<b>t</b>
PST/ECV	1,000	1,000	0,000	6620,145
PM <sub>10</sub> /ECV	1,000	1,000	0,000	403,922
PM <sub>2,5</sub> /ECV	1,000	0,999	0,000	221,118

## 8. Discusión

Efectivamente, Medellín es una de las ciudades más contaminadas de América,<sup>89</sup> puesto que sus niveles de material particulado (145  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PST, 87  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{10}$  y 45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{2,5}$ ) exceden los valores guía establecidos por la OMS (20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $\text{PM}_{10}$  y 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $\text{PM}_{2,5}$ ), para los que ya se generan efectos importantes en la salud a largo plazo. Los niveles de dichos contaminantes en la ciudad se han cuadruplicado, con respecto a los valores de referencia mencionados.

Lo más preocupante es que la contaminación del aire en Medellín en los últimos 30 años, exhibe una tendencia al aumento; los niveles de material particulado aumentan anualmente a razón de 3-4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para PST, 2-3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $\text{PM}_{10}$  y de 1-2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $\text{PM}_{2,5}$ ; los cuales se relacionan con el aumento de la densidad poblacional, los procesos de urbanización, la actividad industrial y especialmente con el incremento del número de vehículos que transitan por la ciudad y que emiten grandes cantidades de contaminantes al aire.

Los casos de enfermedades respiratorias como el EPOC y el Asma en Medellín, son superiores a los registrados en el resto de ciudades de Colombia. Medellín tiene la mayor prevalencia de EPOC (12,1%) en comparación con Cali (8,5%) y Bogotá (8,5%); esta prevalencia es aún mayor que la de ciudades como Caracas (12,1%) y Ciudad de México (7,8%). En cuanto al Asma (13,0%) Medellín está por encima de Bucaramanga (11,5), Cali (10,7) y hasta Bogotá (9,4).

En Medellín las muertes por enfermedades cardiorespiratorias, alcanzan proporciones epidémicas. El número de muertes por EPOC y cáncer de pulmón en el Valle de Aburrá, aumenta alrededor de 24 y 16 casos por año respectivamente. Así mismo las tasas de mortalidad para dichas enfermedades han aumentado durante los 30 años estudiados. En el caso del EPOC, la tasa de mortalidad para 1980 fue de 17,8 por cien mil habitantes, 232% más que en 2010 (41,3 por cien mil habitantes). Al hablar del cáncer de pulmón durante 1980, la tasa de mortalidad se situó en 11,8 fallecidos por cada cien mil habitantes, lo que supone un incremento de 171% frente a la del año 2010 (20,2 por cien mil habitantes).

Estos eventos se asocian con el incremento de los niveles de contaminación del aire. La información analizada permite evidenciar una significativa correlación, entre la contaminación atmosférica que existe en Medellín y el desarrollo de

enfermedades en sus habitantes, como las complicaciones respiratorias y el cáncer de pulmón.

Es importante considerar que el  $PM_{2,5}$  es el contaminante que más peso tiene en los efectos adversos causados por el material particulado en la salud humana, ya que se ha evidenciado que conforme disminuye el tamaño de partícula, aumenta su toxicidad, debido a que las partículas más pequeñas pueden penetrar más profundamente en las vías respiratorias y una vez dentro del árbol respiratorio son capaces de acumularse en las fosas nasales, laringe, tráquea, bronquios, bronquiolos y sacos alveolares.<sup>90-91</sup>

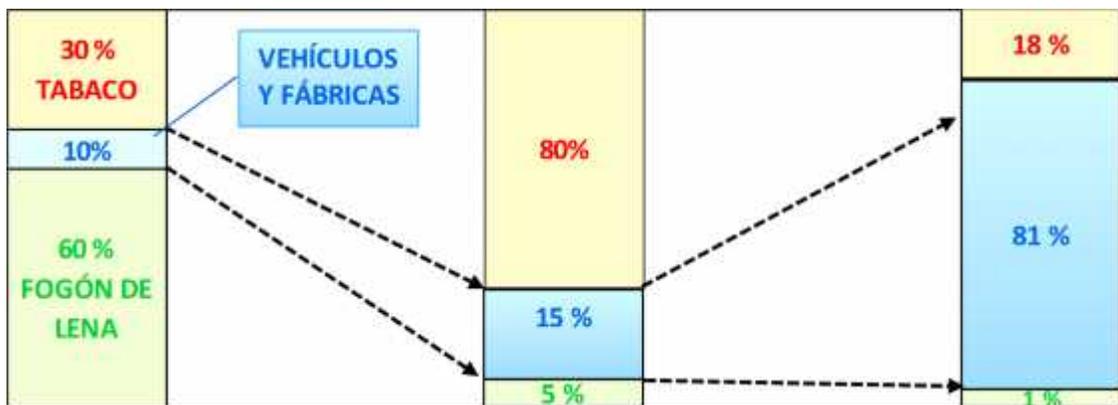
Se ha demostrado que en el caso de las partículas finas y respirables, al examinar la relación dosis-respuesta entre los niveles de contaminación y los indicadores de salud, no hay un umbral por debajo del cual no se generen efectos dañinos a la salud.<sup>92-93</sup>

Se ha evidenciado además que la prevalencia de EPOC en individuos no fumadores es del 5,2% y en aquellos que no son fumadores y nunca se han expuesto al humo de leña es de 3,1%, lo que indica que existen otros factores que pueden aportar al desarrollo de esta enfermedad.<sup>94-95</sup>

Las enfermedades respiratorias y cardiovasculares están asociadas a diferentes factores contaminantes y aceleradores del daño en la salud; tales como el uso de fogones de leña, el consumo de tabaco y la contaminación atmosférica.

La modernización ha reducido el uso de las estufas de leña, las cuales se han reemplazado por hornillas eléctricas; la prevalencia del tabaquismo ha descendido sustancialmente en los últimos años (de 38,7 en el año 1977 a 12,8 para el año 2007),<sup>96-97</sup> resta entonces considerar la polución, que es una realidad en la ciudad. La contaminación del aire está en aumento y es generada básicamente por las emisiones de humos, producto de los procesos de combustión con material fósil, llevados a cabo por el transporte y la industria.

Una epidemia muy similar, fue documentada por Gordis<sup>98</sup> durante los años 1930 y 2007 en la población estadounidense, donde fueron registrados valores alarmantes de las tasas de mortalidad por cáncer de pulmón; en esa época la contaminación pulmonar se atribuyó principalmente al tabaquismo.



**Figura 20. Peso proporcional de factores que contaminan el aire**

El peso proporcional de los factores que influyen en la aparición de enfermedades de tipo respiratorio y cardiovascular en la población, ha tenido variaciones con el paso del tiempo. Para 1900 el peso del tabaquismo era de un 30%, la contaminación del aire provocada por los vehículos e industrias del 10% y el uso de fogones de leña del 60%.

Cincuenta años después las cifras cambiaron, el tabaco incrementó en un 50% y las emisiones de fuentes fijas y móviles en un 5%, pero la utilización de fogones de leña se redujo en un 55%.

Hacia el año 2000, el tabaco ya no era el factor más preponderante, puesto que disminuyó en un 62% y el uso de la leña como material de combustión en un 4%; estos fueron desplazados por las emisiones de las fuentes de contaminación antrópicas, las cuales se convierten en el factor de mayor peso para el deterioro de la salud. (Figura 20)

La exposición a humos se considera un factor de riesgo para la mortalidad por enfermedades cardiovasculares. Este efecto puede ocurrir a largo plazo, por ejemplo cuando se está expuesto de manera pasiva al humo de cigarrillo, lo cual induce a la progresión de la arterioesclerosis en las arterias coronarias y en la aorta.

El efecto del tabaquismo a corto plazo, aumenta el riesgo de arritmia o de infarto de miocardio, debido a respuestas inflamatorias agudas, que alteran la función plaquetaria, como producto de los niveles elevados de viscosidad del plasma y las propiedades adhesivas de las células de la sangre; todas estas complicaciones están asociadas al aumento de los niveles de contaminación del aire.<sup>99-100</sup>

La contaminación atmosférica cobra anualmente en Medellín cerca de 4000 vidas, representadas en 500 muertes por cáncer de pulmón, 1000 por enfermedad pulmonar obstructiva crónica, 370 por enfermedades de las vías respiratorias bajas y 1800 por complicaciones cardiovasculares.

No deja de asombrar que a pesar de los altos niveles de contaminación del aire evidenciados en Medellín y las altas cifras de mortalidad en la población por enfermedades del sistema respiratorio y cardiovascular; no existen medidas de control efectivas para contener esta epidemia. Las autoridades sanitarias y ambientales están en deuda con los habitantes de la ciudad no solo por el costo de las vidas que se han perdido, siendo víctimas de los efectos adversos de la contaminación, sino por aquellos que al respirar el enrarecido aire de Medellín, sufren un daño acumulativo e irreversible en su salud.

## 9. Conclusiones

Los efectos de la exposición al material particulado en los habitantes de Medellín son evidentes en relación con las muertes por enfermedad pulmonar obstructiva crónica, cáncer de pulmón, afecciones respiratorias bajas y complicaciones cardiovasculares.

La contaminación atmosférica por material particulado en la ciudad, como la mortalidad por enfermedades cardiorespiratorias asociadas a la contaminación, muestran una clara tendencia al aumento durante los últimos 30 años.

En relación con la contaminación por material particulado, los niveles alcanzan para los años más recientes valores alrededor de  $145 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para las partículas en suspensión total (PST), de  $87 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para las partículas respirables ( $\text{PM}_{10}$ ) y de  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para las partículas finas ( $\text{PM}_{2,5}$ ). Todos estos valores, están muy por encima de los niveles de precaución promulgados por la OMS para proteger la salud de la comunidad.

Este estudio permite encontrar una relación estadística y epidemiológica entre los niveles de material particulado PST,  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2,5}$  y la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

La difusión de esta información es indispensable para crear conciencia en las autoridades sanitarias y ambientales y en la ciudadanía, acerca de la importancia de mejorar las políticas, planes y programas de prevención y control de la contaminación atmosférica.

## 10. Recomendaciones

Es necesario llevar a cabo estudios epidemiológicos adicionales que permitan aportar más evidencia, sobre los efectos de la contaminación del aire asociados a las enfermedades cardiovasculares y respiratorias.

Restringir la circulación de vehículos de transporte público colectivo y de carga (buses, busetas, volquetas y camiones) que emiten al aire de la ciudad humos negros, hollín y gases tóxicos, hasta que no se garantice la reducción de dichas emisiones tóxicas, por medio de algún método alternativo.

Implementar sistemas de información para la gestión ambiental y sanitaria, que sean oportunos, funcionales y prácticos y sirvan como herramienta para la toma de decisiones de las autoridades sanitarias y ambientales en el bienestar y la protección de la salud de la población.

Es necesario que exista voluntad política, para que la legislación de la calidad del aire en la ciudad sea más estricta, porque sus condiciones geográficas, hacen de este valle un lugar estrecho y con poca ventilación, donde los contaminantes quedan retenidos en la atmósfera y causan efectos más dañinos en la salud en comparación con otros lugares más ventilados y abiertos.

Hacer uso de herramientas como la fotodetección para identificar y sancionar aquellos “vehículos chimenea”, que transitan por la ciudad y no se encuentran en adecuadas condiciones técnico-mecánicas.

Restringir el ingreso de vehículos y motos nuevas, estableciendo normas comerciales de ingreso a la ciudad más exigentes, para reducir el impacto del crecimiento vehicular, mejorar la insuficiencia del espacio vial y disminuir los tiempos de desplazamiento.

Seguir avanzando en el cubrimiento y articulación del sistema masivo de transporte público colectivo, para disminuir la sobreoferta de rutas de transporte, así como incentivar programas de chatarrización para vehículos que tengan más de 10 años en circulación.

Renovar los equipos de medición por aquellos con tecnologías más modernas y revisar la ubicación de los mismos, para que las concentraciones de los contaminantes recolectadas por los muestreadores y reportadas en los informes, sean acordes a las condiciones del aire que respiran los seres humanos. Es decir no muestrear encima de los edificios altos, sino al nivel donde las personas deambulan, viven y trabajan.

Las autoridades sanitarias y ambientales deben tomar acciones más de obligatoriedad y no de voluntad (Pactos voluntarios) con actores como los Centros de Diagnóstico Automotriz (CDAs) que operan en el Valle de Aburrá; pues son ellos quienes realizan la revisión de gases a los vehículos, lo cual garantiza un parque automotor libre de emisiones contaminantes para la ciudad. Además es indispensable fortalecer la fiscalización de dichos CDAs, para evitar prácticas corruptas a la hora de expedir certificados a vehículos que no estén en óptimas condiciones técnico-mecánicas.

Las autoridades de movilidad del Área Metropolitana del Valle de Aburrá deben aumentar los operativos de control no solo en las vías públicas sino en las terminales de los vehículos de transporte público, para verificar las condiciones técnicas de los mismos, mediante pruebas de opacidad y acompañar acciones de mantenimiento preventivo y predictivo.

## Bibliografía

1. Instituto Nacional del Cáncer. Diccionario de cáncer [Internet]. [Consultado 2015 Ago 20]. Disponible en:  
<http://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionario?cdrid=445043>
2. Rodríguez Martín RC. Aportaciones al conocimiento del estado medioambiental de hidrosistemas de interés internacional situados en Castilla – La Mancha. España: Ediciones de la Universidad de Castilla – La Mancha; 2000.
3. U.S. National Library of Medicine. Dióxido de carbono [Internet]. [Consultado 2015 Ago 20]. Disponible en:  
<http://toxtown.nlm.nih.gov/espanol/chemicals.php?id=45>
4. U.S. National Library of Medicine. Compuestos orgánicos volátiles (COV) [Internet]. [Consultado 2015 Ago 20]. Disponible en:  
<http://toxtown.nlm.nih.gov/espanol/chemicals.php?id=41>
5. Ministerio de salud de la República Argentina. Enfermedad Cardiovascular [Internet]. [Consultado 2015 Ago 22]. Disponible en:  
<http://www.msal.gov.ar/ent/index.php/informacion-para-ciudadanos/enfermedad-cardiovascular>
6. Organización Mundial de la Salud. Acerca de la enfermedades respiratorias crónicas [Internet]. [Consultado 2015 Ago 21]. Disponible en:  
[http://www.who.int/respiratory/about\\_topic/es/](http://www.who.int/respiratory/about_topic/es/)
7. Organización Mundial de la Salud. Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) [Internet]. [Consultado 2015 Ago 21]. Disponible en:  
<http://www.who.int/respiratory/copd/es/>
8. Arias J, Aller MA, Arias JI, ALdamendi I. Enfermería médico-quirúrgica: I. Madrid: Tébar; 2000.
9. Fundación para la Salud Geoambiental. Material particulado. [Internet]. [Consultado 2015 Ago 22]. Disponible en:  
<http://www.saludgeoambiental.org/material-particulado>
10. Negrín Villavicencio JA. Asma Bronquial. Aspectos básicos para un tratamiento integral según la etapa clínica. La Habana: Editorial Ciencias Médicas; 2004.
11. Bravo Álvarez H, Sosa Echeverri R. Métodos de monitoreo de la calidad del aire [Internet]. [Consultado 2016 Feb 15]. Disponible en:  
<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/eco/036993-I/036993-1.4.pdf>
12. Rojas Bracho L, Garibay Bravo V. Partículas suspendidas, aeropartículas o aerosoles ¿Hacen daño a la salud? ¿Qué hacer? [Internet]. [Consultado 2015 Ago 21]. Disponible en:  
<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/gacetitas/422/particulas.html>

13. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Contaminantes: Partículas (PM). [Internet]. [Consultado 2016 Feb 15]. Disponible en: [http://www.unep.org/tnt-unep/toolkit\\_esp/pollutants/facts.html](http://www.unep.org/tnt-unep/toolkit_esp/pollutants/facts.html)
14. Universidad Nacional de Colombia. ¿Qué es la Red? [Internet]. [Consultado 2016 Feb 15]. Disponible en: <http://minas.medellin.unal.edu.co/convenios/redaire/index.php/la-red/que-es-la-red>
15. Martín Pliego FJ, Ruiz Pérez LR. Estadística Inferencial. 2ª Edición. Madrid: S.A. Alfa Centauro; 2001
16. Molina Vila MD, Mulero González J, Nueda Roldan MJ, Pascual Romero MA. Estadística aplicada a las Ciencias Sociales. España: Universidad de Alicante; 2015.
17. Organización Mundial de la Salud. Contaminación del aire [Internet]. [Consultado 2015 Ago 20]. Disponible en: [http://www.who.int/topics/air\\_pollution/es/](http://www.who.int/topics/air_pollution/es/)
18. Organización Mundial de la Salud. ¿Cuál es la carga de morbilidad causada por la contaminación atmosférica urbana? [Internet]. [Consultado 2015 Ago 21]. Disponible en: [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/health\\_impacts/es/index1.html](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/health_impacts/es/index1.html)
19. Romero Placeres M, Diego Olite F, Álvarez Toste M. La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. Rev Cubana Hig Epidemiol [Internet] 2006; 44(2): 0-0 [Consultado 2016 Feb 24]. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1561-30032006000200008](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032006000200008)
20. Dockery DW, Pope CA III. Epidemiology of acute health effects: Summary of time-series studies. En: Wilson R, Spengler JD, ed. Particles in our air: Concentrations and health effects. Cambridge (MA): Harvard University Press, 1996:123-147
21. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Informe del estado de la calidad del aire en Colombia 2007-2010 [Internet]. [Consultado 2015 Ago 13]. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022433/CALIDADDELAIREWEB.pdf>
22. Oyarzún M. Contaminación aérea y sus efectos en la salud. Rev Chil Enf Respir [Internet] 2010; 26: 16-25. [Consultado 2016 Feb 24]. 17(3):365-378. Disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/rcher/v26n1/art04.pdf>
23. Cabrera P, Rodríguez F. Manual de enfermedades respiratorias. 2a ed. España: Masson; 2005.
24. El Colombiano. Medellín, novena ciudad con más polución de América Latina: OMS [Internet]. [Consultado 2015 Ago 10]. Disponible en:

<http://www.elcolombiano.com/medellin-novena-ciudad-mas-contaminadas-de-america-latina-segun-la-oms-FE2521676>

25. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Diagnóstico nacional de salud ambiental [Internet]. [Consultado 2015 Ago 13]. Disponible en:

<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IGUB/Diagnostico%20de%20salud%20Ambiental%20compilado.pdf>

26. Colombia. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire. Bogotá D.C.: El Ministerio; 2010.

27. Clean Air Institute. La Calidad del Aire en América Latina: Una Visión Panorámica [Internet]. [Consultado en 2015 May 15]. Disponible en:

<http://www.cleanairinstitute.org/calidaddelaireamericalatina/cai-report-spanish.pdf>

28. Lenntech. La biblioteca de preguntas relacionadas con el aire [Internet].

[Consultado 2015 May 22]. Disponible en: <http://www.lenntech.es/faq-polucion-del-aire.htm>

29. Jarma Orozco A, Cardona Ayala C, Araméndiz Tatis H. Efecto del cambio climático sobre la fisiología de las plantas cultivadas: una revisión.

rev.udcaactual.divulg.cient [Internet] 2012; 15(1): 63 – 76 [Consultado 2015 May 21]. 17(3):365-378. Disponible en:

<http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v15n1/v15n1a08>

30. Eastburn T. Air Pollution Affects Plants, Animals, and Environments [Internet]. [Consultado 2015 May 22]. Disponible en:

[http://www.windows2universe.org/earth/Atmosphere/wildlife\\_forests.html](http://www.windows2universe.org/earth/Atmosphere/wildlife_forests.html)

31. Organización Mundial de la Salud. 7 millones de muertes cada año debidas a la contaminación atmosférica [Internet]. [Consultado 2015 May 15]. Disponible en:

<http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/es/>

32. Organización Panamericana de la Salud. La calidad del aire se está deteriorando en muchas de las ciudades del mundo [Internet]. [Consultado 2015 May 15]. Disponible en:

[http://www.paho.org/arg/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1314%3AAla-calidad-del-aire-se-esta-deteriorando-en-muchas-de-las-ciudades-del-mundo&catid=334%3Aarg04-salud-ambiental-y-desarrollo-sustentable&Itemid=511](http://www.paho.org/arg/index.php?option=com_content&view=article&id=1314%3AAla-calidad-del-aire-se-esta-deteriorando-en-muchas-de-las-ciudades-del-mundo&catid=334%3Aarg04-salud-ambiental-y-desarrollo-sustentable&Itemid=511)

33. Bedoya J, Martínez E. Calidad del aire en el Valle de Aburrá Antioquia – Colombia. Dyna. 2009; 158: 7-15.

34. Gaviria C, Muñoz JC, González GJ. Contaminación del aire y vulnerabilidad de individuos en el centro de Medellín. Rev. Fac. Nac. Salud Pública. 2012; 30(3): 316-327.

35. El Huffington Post. Siete millones de personas mueren al año por contaminación ambiental [Internet]. [Consultado 2015 May 18]. Disponible en:

[http://www.huffingtonpost.es/2014/03/25/siete-millones-de-personas-mueren-contaminacion\\_n\\_5025770.html](http://www.huffingtonpost.es/2014/03/25/siete-millones-de-personas-mueren-contaminacion_n_5025770.html)

36. Lacasaña Navarro M, Aguilar Garduño C, Romieu I. Evolución de la contaminación del aire e impacto de los programas de control en tres megaciudades de América Latina. *Salud pública de Méx.* 1999; 41(3): 203-215.
37. Sanhueza P, Vargas C, Mellado P. Impacto de la contaminación del aire por PM10 sobre la mortalidad diaria en Temuco. *Rev. méd. Chile [Internet]* 2006; 134(6): 754-761 [Consultado 2015 May 24]. 17(3):365-378. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-98872006000600012](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-98872006000600012)
38. Vila Real Nunes K, Ignottil E, Hacon S. Circulatory disease mortality rates in the elderly and exposure to PM2.5 generated by biomass burning in the Brazilian Amazon in 2005. *Cad. saúde pública [Internet]* 2013; 29(3): 589-598 [Consultado 2015 Jun 01]. Disponible en: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-311X2013000300016&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-311X2013000300016&script=sci_abstract)
39. Franco JF. Contaminación atmosférica en centros urbanos. Desafío para lograr su sostenibilidad: caso de estudio Bogotá. *Rev. esc.adm.neg [Internet]* 2012; 72: 193-204 [Consultado 2015 Jun 01]. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-81602012000100013](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-81602012000100013)
40. Blanco Becerra LC, Miranda Soberanis V, Hernández Cadena L, Barraza Villarreal, Hurtado Díaz M, Romieu I. Efecto del material particulado inferior a 10 (PM<sub>10</sub>) sobre la mortalidad en Bogotá, Colombia: un análisis de series temporales, 1998-2006. *Salud pública de Méx [Internet]* 2014; 56(4): 363-370 [Consultado 2015 May 24]. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0036-36342014000400010](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342014000400010)
41. Red de calidad del aire del Valle de Aburrá. Informe mes de diciembre de 2014 [Internet]. [Consultado 2015 Jun 02]. Disponible en: [http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/isodocRedAire/Procuraduria\\_Diciembre\\_2014.pdf](http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/isodocRedAire/Procuraduria_Diciembre_2014.pdf)
42. Red de calidad del aire del Valle de Aburrá. Informe mes de diciembre de 2007 [Internet]. [Consultado 2015 Jun 02]. Disponible en: <http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/isodocRedAire/Resumen%20anual%20calidad%20del%20aire%202007.pdf>
43. Martínez E, Bedoya J, Daniels F, Quiroz CM, Arbeláez MP. Contaminación atmosférica y Efectos en la salud de la población de Medellín y su Área Metropolitana. Universidad de Antioquia, Alcaldía de Medellín, Alcaldía de Itagüí, Área Metropolitana del Valle de Aburrá. 2006.

44. Contraloría General de Medellín. Informe estado de los recursos naturales y del ambiente del municipio de Medellín, 2012. [Internet]. [Consultado 2015 Jun 20]. Disponible en:  
[http://www.contraloriagen.gov.co/documents/10136/76600464/INFORME\\_MEDIO\\_AMBIENTE\\_2012\\_2013\\_def\\_web.pdf/8c07cbcf-1186-4543-a08d-46e5e512a27c](http://www.contraloriagen.gov.co/documents/10136/76600464/INFORME_MEDIO_AMBIENTE_2012_2013_def_web.pdf/8c07cbcf-1186-4543-a08d-46e5e512a27c)
45. Contaminación por material particulado (PM 2,5 y PM 10) y consultas por enfermedades respiratorias en Medellín (2008-2009). Rev. Fac. Nac. Salud Pública. 2011; 29(3): 241-250.
46. Alcaldía de Medellín. Plan Ambiental de Medellín 2012-2019. Componente de funcionamiento espacial [Internet]. [Consultado 2015 May 22]. Disponible en:  
<https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/wpccontent/Sites/Subportal%20del%20Ciudadano/Medio%20Ambiente/Secciones/Plantillas%20Gen%C3%A9ricas/Documentos/2013/SIGAM/pam/componentefuncionamientoespacial.html>
47. Alcaldía de Medellín. Plan de Salud Municipal 2012-2015 [Internet]. [Consultado 2015 Jun 27]. Disponible en:  
<https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/wpccontent/Sites/Subportal%20del%20Ciudadano/Salud/Secciones/Plantillas%20Gen%C3%A9ricas/Documentos/2012/Revista%20Salud/Revista%20volumen%206,%20No%201/Revista%20Salud%20P%C3%BAblica%202011.pdf>
48. El Colombiano. El corazón, primera causa de muertes en Medellín [Internet]. [Consultado 2015 Jun 27]. Disponible en:  
[http://www.elcolombiano.com/el\\_corazon\\_primera\\_causa\\_de\\_muertes\\_en\\_medellin-JBEC\\_246935](http://www.elcolombiano.com/el_corazon_primera_causa_de_muertes_en_medellin-JBEC_246935)
49. Montoya DM, Olaya FM, Carvajal YV, Echavarría SJ, Arango CA, Domínguez CM et al. Epidemiología y la relación salud-ambiente: reflexiones sobre el cambio ambiental, desarrollo sustentable y salud poblacional. Rev. Fac. Nac. Salud Pública. 2009; 27(2): 211-217.
50. Díaz Valencia PA. Evaluación de los efectos del tabaquismo y la contaminación ambiental en la función pulmonar de adultos. [Tesis magíster en Epidemiología]. Medellín: Universidad de Antioquia. Facultad Nacional de Salud Pública; 2010.
51. Alcaldía de Medellín. Medellín y su población [Internet]. [Consultado 2015 Jun 27]. Disponible en:  
<https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/wpccontent/Sites/Subportal%20del%20Ciudadano/Plan%20de%20Desarrollo/Secciones/Informaci%C3%B3n%20General/Documentos/POT/medellinPoblacion.pdf>
52. Medellín como vamos. La ciudad [Internet]. [Consultado 2015 Jun 27]. Disponible en: <http://www.medellincomovamos.org/la-ciudad>

53. Flores Rodríguez J. Contaminantes atmosféricos primarios y secundarios. [Internet]. [Consultado 2015 jun 24]. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvstox/fulltext/toxico/toxico-02a9.pdf>
54. Korc ME. Calidad del aire y su impacto en la salud en América Latina y el Caribe. Lima, Perú: CEPIS/OPS; 2000. p. 15-22.
55. Environmental Protection Agency. Seis contaminantes comunes del aire [Internet]. [Consultado 2015 Jun 24]. Disponible en: <http://www.epa.gov/airquality/urbanair/>
56. British Columbia. Material particulado y contaminación del aire exterior [Internet]. [Consultado 2015 Jun 24]. Disponible en: <http://www.healthlinkbc.ca/healthfiles/bilingua/spanish/hfile65e-S.pdf>
57. Organización Mundial de la Salud. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre [Internet]. [Consultado 2015 Jun 24]. Disponible en: [http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_spa.pdf](http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf)
58. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Curso de orientación para el control de la contaminación del aire [Internet]. [Consultado 2015 Jun 24]. Disponible en: [http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta/lecc4/lecc4\\_mp.html](http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta/lecc4/lecc4_mp.html)
59. Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente. Manual de tecnologías de medición de concentración de gases y material particulado en chimeneas y atmósfera [Internet]. [Consultado 2015 Jun 25]. Disponible en: <http://www2.medioambiente.gov.ar/documentos/prodia/contaminacion/manual01.pdf>
60. Environmental Protection Agency. Material Particulado (PM) [Internet]. [Consultado 2015 Jun 25]. Disponible en: <http://www.epa.gov/airquality/particlepollution/index.html>
61. PRTR-España. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Partículas PM<sub>10</sub> [Internet]. [Consultado 2015 Jun 25]. Disponible en: <http://www.prtr-es.es/castellano/documentos/particulas-pm10,15673,11,2007.html>
62. Environmental Protection Agency. Material Particulado [Internet]. [Consultado 2015 Jun 25]. Disponible en: <http://www.epa.gov/ncer/science/pm/>
63. AirNow. Particle Pollution (PM) [Internet]. [Consultado 2015 Jun 25]. Disponible en: <http://www.airnow.gov/index.cfm?action=aqibasics.particle>
64. Ecologistas en acción. ¿Qué son las PM<sub>2,5</sub> y cómo afectan a nuestra salud? [Internet]. [Consultado 2015 Jun 26]. Disponible en: <http://www.ecologistasenaccion.org/article17842.html>

65. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Principios de medición de la calidad del aire [Internet]. [Consultado 2015 Jun 26]. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/621/principios.pdf>
66. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Resolución 2448 de 2010 [Internet]. [Consultado 2015 Jun 26]. Disponible en: [http://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion\\_ideam\\_2448\\_2010.htm](http://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_ideam_2448_2010.htm)
67. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Lección 13 Métodos para determinación de material particulado [Internet]. [Consultado 2015 Jun 26]. Disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358057/EXE\\_Contentido/leccin\\_13mtodos\\_para\\_determinacin\\_de\\_material\\_particulado.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358057/EXE_Contentido/leccin_13mtodos_para_determinacin_de_material_particulado.html)
68. Gobierno de Aragón. El material particulado. ¿Cómo se mide? Método gravimétrico de referencia y equipos automáticos [Internet]. [Consultado 2015 Jun 26]. Disponible en: [http://www.aragonaire.es/particulatematter.php?n\\_action=measure](http://www.aragonaire.es/particulatematter.php?n_action=measure)
69. Bolívar Mejía N, Jaramillo Deossa LJ. Niveles de material particulado y mortalidad por enfermedades respiratorias crónicas Medellín 1980 – 2006. [Trabajo de grado para optar al título de profesionales de Gerencia en Sistemas de Información en Salud]. Medellín: Universidad de Antioquia. Facultad Nacional de Salud Pública; 2012.
70. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Lección 7. Fuentes de contaminantes atmosféricos: fuentes móviles, fijas, puntuales y de área [Internet]. [Consultado 2013 Mar 27]. Disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358007/Contenido\\_en\\_linea\\_Caraterizacio\\_n/leccin\\_7\\_fuentes\\_de\\_contaminantes\\_atmosfricos\\_fuentes\\_mviles\\_fijas\\_puntuales\\_y\\_de\\_rea.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358007/Contenido_en_linea_Caraterizacio_n/leccin_7_fuentes_de_contaminantes_atmosfricos_fuentes_mviles_fijas_puntuales_y_de_rea.html)
71. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Material Particulado [Internet]. [Consultado 2015 Jun 27]. Disponible en: [http://www.bvsde.paho.org/cursoa\\_orientacion/frame\\_o.html](http://www.bvsde.paho.org/cursoa_orientacion/frame_o.html)
72. Gutierrez H, Romeu I, Corey G, Fortoul T. Contaminación del Aire Riesgos para la Salud. México DF: Manual Moderno S.A de C. V; 1997
73. Environmental Protection Agency. Human Disease and Condition [Internet]. [Consultado 2015 Jun 27]. Disponible en: <http://cfpub.epa.gov/eroe/index.cfm?fuseaction=list.listBySubTopic&lv=list.listBySubTopic&ch=49&s=381>
74. Organización Mundial de la Salud. La contaminación del aire es una de las principales causas ambientales de muerte por cáncer [Internet]. [Consultado 2015 Jun 27]. Disponible en: [http://www.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=article&id=9089%3A](http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=9089%3A)

outdoor-air-pollution-a-leading-environmental-cause-of-cancer-deaths&catid=1443%3Anews-front-page-items&Itemid=1&lang=es

75. Ministerio de Salud de Argentina. Enfermedades respiratorias [Internet]. [Consultado 2015 Jun 27]. Disponible en:

<http://www.msal.gov.ar/ent/index.php/informacion-para-ciudadanos/enfermedades-respiratorias>

76. Environmental Protection Agency. Review of the National Ambient Air Quality Standards for particulate matter: Policy assessment of scientific and technical information 2005 [Internet]. [Consultado 2015 Jun 27]. Disponible en:

[http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/pm/data/pmstaffpaper\\_20051221.pdf](http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/pm/data/pmstaffpaper_20051221.pdf)

77. Environmental Protection Agency. Review of the National Ambient Air Quality Standards for ozone: Policy assessment of scientific and technical information 2007 [Internet]. [Consultado 2015 Jun 27]. Disponible en:

<http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/pm/data/20110419pmpafinal.pdf>

78. Organización Mundial de la Salud. Enfermedades cardiovasculares [Internet]. [Consultado 2015 Jun 27]. Disponible en:

[http://www.who.int/topics/cardiovascular\\_diseases/es/](http://www.who.int/topics/cardiovascular_diseases/es/)

79. Área Metropolitana. Normatividad [Internet]. [Consultado 2015 Jun 27].

Disponible en: <http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/Paginas/normatividad.aspx>

80. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Lección 30. Legislación ambiental nacional y convenios internacionales relacionados con contaminantes atmosféricos [Internet]. [Consultado 2015 Jun 27]. Disponible en:

[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358007/Contenido\\_en\\_linea\\_Caraterizacion/leccin\\_30\\_legislacin\\_ambiental\\_nacional\\_y\\_convenios\\_internacionales\\_relacionados\\_con\\_contaminantes\\_atmosfricos.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358007/Contenido_en_linea_Caraterizacion/leccin_30_legislacin_ambiental_nacional_y_convenios_internacionales_relacionados_con_contaminantes_atmosfricos.html)

81. Área Metropolitana. Índice de la calidad del aire [Internet]. [Consultado 2015 Jul 24]. Disponible en: <http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/Paginas/inicio.aspx>

82. Área Metropolitana. Lineamientos Técnicos para el Plan de Descontaminación del Aire en la Región Metropolitana del Valle de Aburrá [Internet]. [Consultado 2015 Jul 24]. Disponible en:

<http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/IsdocPlandedescontaminacion/pdva.pdf>

83. Gómez Marín M. Curso de contaminación atmosférica: diseño de la red de vigilancia de la calidad del aire para la zona urbana de Medellín. Medellín: Ainsa; 1988

84. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Simulaciones Especiales. Tarea 2: Lineamientos Técnicos para el Plan de Descontaminación del Aire en la Región Metropolitana del Valle de Aburrá [Internet]. [Consultado 2015 Nov 12]. Disponible en: <http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/IsdocPlandedescontaminacion/pdva.pdf>

85. Manotas E, Bedoya J, Martínez E. Estudio de las series de tiempo de contaminantes atmosféricos y sus efectos en la salud humana en el Valle de Aburrá. *Revista de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. Año 50.
86. Saldarriaga Molina J C, Molina Pérez F J, Echeverri Londoño C A. Partículas suspendidas (PST) y partículas respirables (PM10) en el Valle de Aburrá, Colombia. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioq [Internet]* 2004: 7-16 [Consultado 2016 Ene 20] Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43003201>
87. Echeverri Londoño CA, MV GJ. Relación entre las partículas finas (PM 2.5) y respirables (PM 10) en la ciudad de Medellín. *Rev. ing. univ. Medellín [Internet]* 2008; 7 (12): 23-42. [Consultado 2016 Ene 22]. Disponible en: <http://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/198>
88. Organización Mundial de la Salud. 7 millones de muertes cada año debidas a la contaminación atmosférica [Internet]. [Consultado 2016 Feb 8]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/es/>
89. Organización Mundial de la Salud. Evaluación de los Efectos de la Contaminación del Aire en la Salud de América Latina y el Caribe [Internet]. [Consultado 2015 Nov 12]. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsea/fulltext/contaminacion/contaminacion.pdf>
90. International Commission on Radiological Protection. Task force on lung dynamics: Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract. *Health phys.* 1966; 12:173-207.
91. Ghio J, Samet J. Metals and air pollution particles. En: Holgate ST, Saneet SM, Maynard RL, Borel HS, ed. *Air pollution and health*. San Diego (CA): Academic Press, 1999:635-651.
92. Glantz SA. Air Pollution as a Cause of Heart Disease -Time for Action. *J. Am. Coll. Cardiol [Internet]* 2002; 39(6):943 [Consultado 2016 Feb 22]. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=s0717-73482005000300005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=s0717-73482005000300005&script=sci_arttext)
93. Martínez López E, Díaz Valencia PA. Respirar aire contaminado es tan nocivo como fumar cigarrillo. *Rev. salud pública [Internet]* 2015 [Consultado 2016 Feb 24]. 17(3):365-378. Disponible en: <http://www.scielosp.org/pdf/rsap/v17n3/v17n3a05.pdf>
94. Caballero A, Torres Duque CA, Jaramillo C, Bolívar F, Sanabria F, Osorio P, et al. Prevalence of COPD in Five Colombian Cities Situated at Low, Medium, and High Altitude (PREPOCOL Study)\*. *Chest [Internet]* 2008 [Consultado 2016 Mar 4]. 133(2):343-349. Disponible en:
95. Dennis R, Caraballo L, García E, Rojas M, Rondon M, Pérez A, et al. Asthma and other allergic conditions in Colombia: a study in 6 cities. *Annals of Allergy, Asthma and Immunology. Ann. allergy asthma immunol. [Internet]* 2012

- [Consultado 2016 Mar 4]. 93 (6): 568–574. Disponible en:  
[http://www.annallergy.org/article/S1081-1206\(10\)61265-3/abstract](http://www.annallergy.org/article/S1081-1206(10)61265-3/abstract)
96. Martínez López E, Díaz Valencia PA. Respirar aire contaminado es tan nocivo como fumar cigarrillo. Rev. salud pública [Internet] 2015 [Consultado 2016 Feb 24]. 17(3):365-378. Disponible en:  
<http://www.scielosp.org/pdf/rsap/v17n3/v17n3a05.pdf>
97. Ministerio de Salud y Protección Social. Socialización del informe final de evaluación de necesidades para la ampliación del Convenio Marco de Control del Tabaco. Cifras oficiales para Colombia [Internet]. [Consultado 2016 Feb 10]. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/Documents/General/Cifras-tabaco-Colombia.pdf>
98. Gordis L. Epidemiología. 5 Edición. España: Elsevier; 2015
99. Center for Disease Control and Prevention. Surgeon General’s Reports 2004. Chapter 3 Cardiovascular Diseases [Internet]. [Consultado 2016 Feb 10]. Disponible en:  
[http://www.cdc.gov/tobacco/data\\_statistics/sgr/2004/pdfs/chapter3.pdf](http://www.cdc.gov/tobacco/data_statistics/sgr/2004/pdfs/chapter3.pdf)
100. Peters A, Dockery DW, Muller JE, Mittleman MA. Increased Particulate Air Pollution and the Triggering of Myocardial Infarction. Circulation. 2001; 103: 2810-2815.