



**Evaluación de los efectos del tabaquismo y la contaminación ambiental en la  
función pulmonar de adultos**

**Evaluation of the tobacco and air pollution effects on  
pulmonary function in adults**

Paula Andrea Diaz Valencia

Universidad de Antioquia  
Facultad Nacional de Salud Pública  
"Héctor Abad Gómez"  
Medellín  
2010

**Evaluación de los efectos del tabaquismo y la contaminación ambiental en la  
función pulmonar de adultos**

**Evaluation of the tobacco and air pollution effects on  
pulmonary function in adults**

Paula Andrea Diaz Valencia

Trabajo de investigación para optar al título de  
**Magíster en Epidemiología**

Docente asesor

Elkín Martínez López  
MD MSc MPH  
Profesor titular Universidad de Antioquia

Comunicaciones: [paulaandreadia@gmail.com](mailto:paulaandreadia@gmail.com)

Universidad de Antioquia  
Facultad Nacional de Salud Pública  
“Héctor Abad Gómez”  
Medellín  
2010

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

**Elkin Martínez López**

---

Presidente

**Jaime Gallo**

---

Jurado

**Carlos M. Quiroz**

---

Jurado

Medellín, febrero de 2010

## *Dedicatoria*

*A mis padres Ligia y Rodrigo, ángeles que me han señalado el camino,  
han sido mis mejores maestros.*

*A mis hermanos, Juan, David, Rodrigo I, Rodrigo II, Katherine,  
seres que con su sonrisa iluminan mi sendero.*

*A mi amado esposo Juan Ignacio,  
compañero de vida y de sueños.*

## Tabla de contenido

Lista de tablas .....	7
Lista de figuras .....	8
Lista de anexos.....	9
Resumen .....	10
Summary.....	12
Introducción.....	14
<b>1. Planteamiento del problema.....</b>	<b>16</b>
<b>2. Objetivo.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Objetivo general.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>18</b>
<b>3. Marco teórico.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 Tabaco.....</b>	<b>19</b>
3.1.1 Antecedentes históricos del tabaquismo.....	19
3.1.2 Tabaquismo y riesgos para la salud.....	19
3.1.3 Prevalencias de consumo de tabaco.....	21
<b>3.2 Contaminación atmosférica.....</b>	<b>22</b>
3.2.1 Definición.....	22
3.2.2 Contaminación atmosférica y riesgos para la salud.....	23
3.2.3 Contaminación atmosférica en Colombia.....	24
3.2.4 Contaminación atmosférica en Medellín.....	25
3.2.5 Determinación de la contaminación atmosférica en Medellín.....	27
<b>3.3 Evaluación de la función pulmonar.....</b>	<b>29</b>
3.3.1 La espirometría.....	29
3.3.2 Historia de la espirometría.....	30
3.3.3 Tipos de espirometrías.....	31
3.3.4 Indicaciones y contraindicaciones .....	31
3.3.5 Criterios de una espirometría satisfactoria.....	32
3.3.6 Indicadores espirométricos.....	33
<b>4. Metodología.....</b>	<b>36</b>
<b>4.1 Tipo de estudio.....</b>	<b>36</b>
4.1.1 Diseño del estudio.....	36
<b>4.2 Población y área del estudio.....</b>	<b>36</b>
4.2.1 Población.....	36
4.2.2 Muestra.....	36
<b>4.3 Criterios de inclusión y exclusión.....</b>	<b>36</b>

4.3.1	4.3.2	4.4	4.4.1	4.4.2	4.4.3	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.9.1	4.9.2	4.9.3	4.10	4.11	5.	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	6.	6.1	6.2	6.2.1	6.2.2	6.2.3	6.3	6.4	7.	Agradecimientos	Bibliografía citada	Anexos			
		<b>Variables</b>	Variable dependiente	Variables independientes	Covariables	<b>Evaluación de la función pulmonar</b>	<b>Evaluación del nivel de material particulado</b>	<b>Logística en la recopilación del dato</b>	<b>Procesamiento de los datos</b>	<b>Plan de análisis</b>	Hipótesis de trabajo	Análisis estadístico descriptivo	Análisis estadístico bi-variado	<b>Consideraciones éticas</b>	<b>Plan de divulgación de resultado</b>		<b>Estadísticos descriptivos</b>	<b>Prueba de normalidad</b>	<b>Comparación de los indicadores espirométricos con otros estudios</b>	<b>Indicadores espirométricos</b>	<b>Análisis de riesgos</b>		<b>Resumen de los principales hallazgos</b>	<b>Comparación con estudios previos</b>	Evaluación de la función pulmonar	Función pulmonar y tabaquismo	Función pulmonar y contaminación	<b>Limitaciones</b>	<b>Implicaciones</b>							

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Directrices para calidad del aire según partículas en suspensión OMS.....	23
<b>Tabla 2.</b> Índice de calidad del aire EPA.....	23
<b>Tabla 3.</b> Variables Tabaquismo y Función pulmonar.....	37
<b>Tabla 4.</b> Variables sociodemográficas.....	42
<b>Tabla 5.</b> Características sociodemográficas de fumar según lugar de residencia, variables categóricas.....	43
<b>Tabla 6.</b> Medidas de tendencia central características antropométricas.....	43
<b>Tabla 7.</b> Características antropométricas la población, según lugar de residencia y fumar .....	44
<b>Tabla 8.</b> Características antropométricas de los hombres, según lugar de residencia y fumar.....	44
<b>Tabla 9.</b> Características antropométricas de las mujeres, según lugar de residencia y fumar.....	44
<b>Tabla 10.</b> Comparación indicadores espirométricos con otros estudios población masculina.....	47
<b>Tabla 11.</b> Comparación indicadores espirométricos con otros estudios población femenina.....	48
<b>Tabla 12.</b> Medidas de tendencia central de los indicadores espirométricos, población total.....	48
<b>Tabla 13.</b> Diferencia de promedios de los indicadores espirométricos según nivel de exposición por contaminación.....	49
<b>Tabla 14.</b> Diferencia de promedios de los indicadores espirométricos según nivel de exposición al tabaquismo.....	49
<b>Tabla 15.</b> Tabla de contingencia de 2x2 % VEF <sub>1</sub> /CVF según condición de tabaquismo.....	51
<b>Tabla 16.</b> Tabla de contingencia de 2x2 % VEF <sub>1</sub> /CVF según exposición a PM <sub>10</sub> .....	51
<b>Tabla 17.</b> Tabla de contingencia de 2x2 % VEF <sub>1</sub> /CVF según edad.....	51
<b>Tabla 18.</b> Razones de riesgo de la variable VEF <sub>1</sub> /CVF<80% según el nivel de exposición por contaminación: análisis de confusión e interacción.....	55
<b>Tabla 19.</b> Análisis multivariado según variables sociodemográficas .....	56
<b>Tabla 20.</b> Análisis multivariado variables edad, contaminación y tabaco.....	56

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Concentración de partículas suspendidas en el aire. Medellín 2001–2007.....	25
<b>Figura 2.</b> Ciclo diario de PM <sub>10</sub> y tránsito vehicular: promedios horarios Medellín y Área Metropolitana.....	26
<b>Figura 3.</b> Red de monitoreo de la calidad del aire del Área Metropolitana del Valle de Aburrá Estaciones de servicio.....	28
<b>Figura 4.</b> Realización de una espirometría.....	29
<b>Figura 5.</b> Pulmómetro de Edwuard Kentish 1813.....	30
<b>Figura 6.</b> Espirómetro de Jhon Hutchinson 1852 .....	30
<b>Figura 7.</b> Espirómetro moderno .....	30
<b>Figura 8.</b> Registro gráfico de la espirometría. Se registran cambios de volumen en tiempo.....	35
<b>Figura 9.</b> Registro gráfico de la curva flujo volumen (Velocidad de flujo instantáneo en un momento de volumen dado).....	35
<b>Figura10.</b> Espirograma normal (curva volumen / tiempo) y curva de flujo / volumen.....	35
<b>Figura 11.</b> Histogramas con curva normal, variables continuas: CV, VEF <sub>1</sub> , VEF <sub>1</sub> /CVF, MMEF, MEF <sub>75</sub> , MEF <sub>50</sub> , MEF <sub>25</sub> , edad.....	46
<b>Figura 12.</b> Diferencia de promedios del indicador espirométrico %VEF <sub>1</sub> /CVF según tabaco y nivel de exposición por contaminación .....	50
<b>Figura 13.</b> Exceso de riesgo para la alteración del % VEF <sub>1</sub> /CVF según nivel de exposición a PM <sub>10</sub> .....	52
<b>Figura 14.</b> Exceso de riesgo para la alteración del % VEF <sub>1</sub> /CVF según nivel de exposición a tabaquismo .....	53
<b>Figura 15.</b> Exceso de riesgo para la alteración del % VEF <sub>1</sub> /CVF según nivel de exposición a PM <sub>10</sub> y tabaquismo .....	53
<b>Figura 16.</b> Prevalencias de la alteración del % VEF <sub>1</sub> /CVF .....	54

## Lista de anexos

<b>Anexo 1.</b> Prevalencias de consumo de tabaco en Colombia, 1977-2008.....	71
<b>Anexo 2.</b> Detalle de monitoreo de PM <sub>10</sub> por ciclos de 24 horas en algunas estaciones del Área Metropolitana, y rosas de los vientos según el área.....	72
<b>Anexo 3.</b> Definiciones de indicadores espirométricos.....	75
<b>Anexo 4.</b> Criterios para evaluación de EPOC según varias organizaciones, listado por año.....	77
<b>Anexo 5.</b> Encuesta para recolección de la información.....	78

## Resumen

**Introducción.** Con este estudio se analiza la asociación entre la alteración de la función pulmonar medida por indicadores espirométricos con la exposición al tabaco y a los altos niveles de material particulado  $<10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , en una población adulta del área metropolitana del Valle de Aburrá y municipios vecinos.

**Objetivo.** Analizar el efecto de la contaminación atmosférica y el tabaquismo sobre la función pulmonar de una población adulta.

**Métodos.** Se realizó un estudio descriptivo transversal con análisis ecológico parcial que evalúa la asociación entre contaminación atmosférica por material particulado y la función pulmonar, así como la asociación entre esta y el tabaquismo, adicionalmente se explora la presencia de una posible interacción. Se comparan dos ambientes con diferentes niveles de contaminación  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en promedio de material particulado respirable ( $\text{PM}_{10}$ ) y grupos de fumadores contra no fumadores. La función pulmonar se evalúa mediante espirometría funcional realizada a 490 personas de la población general entre 15 y 86 años, el indicador básico es el  $\% \text{VEF}_1/\text{CVF}$ .

**Resultados.** La función pulmonar está disminuida en los fumadores ( $\text{VEF}_1/\text{CVF} < 80\%$ ) en mayor proporción que en los no fumadores, observándose un exceso de riesgo de 54% (RR. 1,54 IC 95% 1,13-2,11) relación que permanece significativa al ajustar por contaminación ( $\text{RR}_{\text{MH}}$  1,44 IC 95% 1,05-17,97). Las personas expuestas a un mayor nivel de contaminación ambiental ( $\text{PM}_{10}$   $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) presentan una mayor proporción de disfunción pulmonar que los que se exponen a ambientes menos contaminados ( $\text{PM}_{10}$   $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) esta relación mostró un exceso de riesgo de 61% en las personas expuestas en relación a los que se exponen de manera regular a niveles más bajos de  $\text{PM}_{10}$  (RR. 1,61 IC95% 1,17,2,21). Esta relación permanece estable cuando se ajusta por el riesgo de fumar con el método de análisis estratificado de Mantel y Hanzel ( $\text{RR}_{\text{MH}}$  1,52 IC 95% 1,11-2,08). Cuando los sujetos se exponen a ambos riesgos, es decir fuman y además se encuentran en ambientes contaminados el exceso de riesgo es del 127% (RR 2,27 IC 95% 1,44-3,59.  $\chi^2$  14,2 p. 0,00). El tabaco y la contaminación actúan como factores independientes, con estos datos no se demostró la presencia de interacción significativa entre el hábito de fumar y la contaminación atmosférica. ( $\chi^2$  0,23 p. 0,62) pero es claro que quien se expone simultáneamente a los dos factores tiene un riesgo alto, correspondiente a la suma de los riesgos específicos.

**Conclusiones.** Las personas que se exponen al tabaco y a ambientes contaminados presentan riesgo aumentado de padecer alteraciones de la función pulmonar, no se evidencia que el efecto conjunto sea superior al reportado por la suma de las exposiciones individuales. La detección de las alteraciones de la función permite identificar personas en alto riesgo de tener enfermedad pulmonar, hecho que permite emprender programas oportunos de prevención en enfermedades relacionadas con la contaminación atmosférica y el consumo de cigarrillo como son las pulmonares, cardiovasculares y cáncer.

**Palabras claves.** Tabaco, contaminación atmosférica, función pulmonar, espirometría, epidemiología ambiental

## Summary

**Introduction.** With this study it is tried to analyze the association between the alteration of the pulmonary function measured by spirometry with the exhibition to the tobacco and the high levels of suspended particulate matter ( $PM_{10}$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), in an adult population of the Área Metropolitana del Valle de Aburrá and neighboring town.

**Aim.** To analyze the effects of air pollution and tobacco smoking on the pulmonary function of adults

**Methods.** A cross-sectional descriptive study with partial ecological analysis was conducted to determine the association between contaminated atmospheres and particulate matter with lung function, as well as between the latter and tobacco smoking. A possible interaction effects between air pollution and smoking was also explored. Two settings with different ambient air pollution levels,  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  and  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  of  $PM_{10}$  we compared, as well as smoker vs. non-smoker groups. Pulmonary functions was measured by spirometry to 490 people of the general population between 15 and 86 years, the basic index was %VEF1/CVF.

**Results.** Pulmonary function was found to be reduced among smokers ( $FEV1/FVC < 80\%$ ) in a higher proportion than among non smokers, being observed an excess of 54% risk (RR 1,54 CI 95% 1,13-2,11) and this relationship was still present after adjusting by ambient air pollution (RR<sub>MH</sub> 1,44 CI 95% 1,05-1,97) People exposed at a greater environmental pollution level ( $PM_{10}$   $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) showed a higher proportion of pulmonary dysfunction than those exposed to a less polluted air ( $PM_{10}$   $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). (RR 1,61 CI 95% 1,17-2,21) And this relationship remains after adjusting by smoking (RR<sub>MH</sub> 1,52 CI 95% 1,11-2,08). When the subjects are exposed to both risks, that is to say, they smoke and air pollution the excess of risk is of 127% (2.27 RR IC 95% 1,44-3,59.  $\chi^2$  14.2 p. 0,00). This study showed smoking and air pollution does not have an additive effect on pulmonary function; their effects were not synergistic and did not lessen each other's effect. ( $\chi^2$  0.23 p. 0,62 for the interaction analysis). The effects of the tobacco and the air pollution are independent factors. But are clear that who exposes simultaneously to both factors have a high risk, corresponding to the sum of the specific risks.

**Conclusions.** Individual exposed to smoking or contaminated atmospheres show a higher risk of alterations in pulmonary function, and their risk is even higher when they are exposed to both factors simultaneously, given that they have an additive effect. It is necessary to implement programs to reduce the exposure levels to contaminated atmospheres, as well as the detection of the alterations of the function allows to identify people in high risk of having pulmonary disease, cardiovascular disease and cancer.

**Key words** tobacco, air pollution, spirometry, environmental epidemiology

## Introducción

Salud, una palabra verdaderamente simple, si se compara con las implicaciones de su significado. Existen miles de formas para definirla: ausencia de enfermedad; normalidad, aplicando conceptos de la bioestadística; existencia de un sistema regulado, según los funcionalistas; otros la conciben como un medio para alcanzar el desarrollo humano y social; una de las definiciones clásicas es la descrita por la OMS, “La salud es un completo estado de bienestar físico, mental y social y no la mera ausencia de enfermedad”. Según la heterogeneidad de estas definiciones se deja entrever que al hablar de salud, se está tratando un tema verdaderamente complejo que requiere abordajes integrales, a nivel individual y colectivo.

Se ha hecho alusión a la complejidad que encierra el concepto de salud, porqué en este escrito se tratará los temas: tabaquismo, contaminación y su relación con la función pulmonar. Si bien, nos suenan familiares y están aparentemente relacionados, en una segunda mirada, aparecen completamente diferentes en cuanto a la forma de estudiarlos, los abordajes metodológicos, los procesos analíticos, las implicaciones de sus resultados y su abordaje.

El presente estudio plantea que el tabaquismo y la contaminación atmosférica afectan la salud humana, en esta investigación se considera que hay deterioro, cuando existe alteración de la función pulmonar determinada por una prueba de función pulmonar conocida como espirometría, medida a nivel individual. La contaminación ambiental por su parte se determinó según el nivel de exposición a material particulado respirable de tamaño inferior a 10  $\mu\text{m}$  el cual se determino a nivel del colectivo.

Alcanzar el máximo estado de bienestar, es decir de salud, implica mucho más que procedimientos de medicalización, más aún, tratándose de temas como el tabaquismo o la contaminación atmosférica, razón por la cual los postulados de la Promoción de la Salud se hacen imperantes a la luz de este trabajo. En 1986, la Carta de Ottawa, identifico la Promoción de la Salud, como un “conjunto de valores”: vida, salud, solidaridad, democracia, ciudadanía, desarrollo, participación, acción, entre otros. Se refiere también a una “combinación de estrategias”: acciones del estado (políticas públicas saludables), de la comunidad (refuerzo de la acción comunitaria), de los individuos (desarrollo de habilidades personales), del sistema de salud (reorientación del sistema de salud) y de asociaciones intersectoriales (responsabilidad múltiple en los problemas y en las soluciones).<sup>(1)</sup> En consecuencia, asuntos como el tabaquismo o la contaminación, si bien, se encuentran en el orden de las responsabilidades individuales, también requiere para su abordaje, la participación de la mayoría de las estrategias contempladas en la Carta de Ottawa, en especial de las acciones estatales como el fomento de políticas públicas a favor de la disminución del consumo de tabaco activo y pasivo, y la contaminación atmosférica. Es urgente que se problematicen éstos fenómenos y se les de prioridad en las agendas públicas así como en todos los espacios donde se tratan temas de salud.

En este punto, la integración entre epidemiología y promoción de la salud, se hace necesaria. El objetivo formal de los estudios epidemiológicos, es evaluar la probabilidad de la ocurrencia de eventos o enfermedad en individuos y en el colectivo, expuestos a determinados factores, de tal manera que permitan identificarlos, analizarlos y proponer acciones encaminadas a mejorar o mantener la salud.

En la epidemiología moderna, como resultado de la continúa aplicación de este método al estudio de los problemas relacionados con el medio ambiente y el desarrollo de nuevas herramientas metodológicas, surge la epidemiología ambiental. Está área de la epidemiología estudia por qué y cómo, los factores ambientales afectan la salud de la población, situación que apoya la idea expuesta al inicio, de una salud altamente influenciada por una gran diversidad de condicionantes, el ambiente, es uno de ellos.

Entre los objetos de estudio en la epidemiología ambiental se encuentran agentes biológicos, físicos y químicos, situaciones sociales y la relación de las personas con estas, es decir, los llamados ambientes sociales. De acuerdo a este panorama, la epidemiología ambiental, se propone como una herramienta de grandes potencialidades y proyección en el campo de la epidemiología y la salud pública.

En este sentido, el Grupo de Epidemiología de la Universidad de Antioquia, en su Línea Promoción de la Salud, asumió el reto de apoyar este proyecto, consiente de su responsabilidad social y académica, al abordar problemáticas tan complejas como el tabaquismo y la contaminación atmosférica. Temas que por su complejidad han conducido a este grupo por el camino de la epidemiología ambiental, sus métodos, análisis, así como a afrontar las implicaciones políticas y sociales de los resultados derivados de este tipo de estudios.

El presente estudio, pretende traspasar la frontera de un requisito académico, busca, ser una fuente de argumentos en favor de la promoción de la salud, plantea una invitación a pensar en las consecuencias del tabaquismo y la contaminación atmosférica sobre la salud de las personas. El reto que nos queda a todos es continuar pensando como asumir y resolver éstas problemáticas, pues las generaciones futuras, merecen un aire limpio para vivir, soñar y reír.

## 1. Planteamiento del problema

La relación entre el ambiente y los humanos ha sido observada desde la época de Hipócrates (460-377 a.C.), en su obra magna el *Corpus hippocraticum*, incluye el Tratado de los aires, las aguas y los lugares, donde discute sus causas medio-ambientales y rompe con la tradicional atribución de un origen divino a las enfermedades. Desde entonces son múltiples las observaciones que han realizado los científicos de todo el mundo para identificar la influencia del ambiente sobre la salud humana.

Una de las grandes complejidades que plantea la epidemiología ambiental, hace alusión a que la gran mayoría de las exposiciones son involuntarias. Por lo general, no es posible elegir que cuál es el aire que se va a respirar, siendo el sistema pulmonar la vía de ingreso más importante de los contaminantes ambientales. En promedio un adulto respira aproximadamente 20 metros cúbicos o 50 libras de aires cada día,<sup>(2)</sup> situación que hace al sistema respiratorio la barrera física más susceptible a los contaminantes ambientales.

El caso del tabaco, es un buen ejemplo. Si bien, este texto se concentrará en los fumadores activos, es claro que el tabaco es nocivo en todas sus formas. El llamado de humo de segunda mano o tabaquismo pasivo, puede estar presente en los hogares, en los lugares de trabajo y en los sitios públicos, espacios en los que la mayoría de las veces las posibilidades de elegir el aire que se respira están limitadas.

Continuando con el tabaco, desde 1950 existe un estudio publicado por los investigadores Richar Doll y Bradford Hill donde en un estudio de casos y controles, demostraron la asociación entre el tabaco y el cáncer de pulmón;<sup>(3)</sup> sin embargo, solo hasta enero de 1993, la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés Environmental Protection Agency) declaró que el humo de tabaco era carcinogénico.

Hoy en día se conoce que el humo de tabaco contiene más de 250 sustancias químicas tóxicas, o que causan cáncer; contiene sustancias como arsénico, amoníaco, bencenos, formaldehído, hidrógeno de cianuro y cloruro de vinilo.<sup>(4)</sup> Solo en la última década se han hecho esfuerzos en la mayoría de países del mundo, para tratar de regular el consumo de tabaco activo y pasivo, son ejemplo de ello la adopción del convenio Marco para el control del tabaco y la estrategia MPOWER, propuestas por la OMS.

Por su parte, también existe evidencia que la contaminación ambiental, está asociada con disminución en la calidad de vida y en la esperanza de vida, así como disminución de la productividad y ausentismo laboral. Específicamente, la contaminación aérea se ha asociado al incremento en el riesgo de accidentes cerebrovasculares, enfermedad cardiovascular, asma y enfermedades pulmonares obstructivas crónicas, y posiblemente a cáncer pulmonar.<sup>(5, 6)</sup>

El municipio de Medellín, ha sido consciente de la importancia que tiene el ambiente sobre la salud de las personas. En este sentido, se creó desde el año 1999, el Sistema de Información Metropolitano

de Calidad del Aire.<sup>(7)</sup> Parte de esta iniciativa consiste en monitorizar la calidad del aire utilizando estaciones móviles con equipos automáticos para la determinación de óxido de azufre (SO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), partículas en suspensión y ozono (O<sub>3</sub>). Según estudios realizados por el Grupo AIRE - Área Metropolitana del Valle de Aburrá, el material particulado inferior a 10 µm es el principal problema de contaminación por partículas suspendidas totales en el Valle de Aburrá.<sup>(7)</sup>

El grupo de Epidemiología de la Universidad de Antioquia, también ha participado en algunos de los estudios del Grupo AIRE, en especial en lo que toca sobre el impacto ambiental en la salud humana, concluyendo que la contaminación atmosférica en Medellín y el área metropolitana, genera efectos nocivos sobre la función respiratoria de sus habitantes, signos clínicos y neuropsicológicos e importante mortalidad por enfermedades cardiorrespiratorias y cáncer del pulmón.<sup>(6)</sup>

Según los argumentos expuestos, sobre los efectos que el tabaquismo y la contaminación atmosférica, pueden acarrear sobre la salud humana y la importancia que tiene generar evidencia local que permitan visualizar la magnitud de esta problemática, en el Grupo de Epidemiología de la Universidad de Antioquia, desde su línea Promoción de la Salud y Prevención de las Enfermedades, contribuye a esta problemática ayudando a resolver la inquietud que da origen a este estudio: ¿Existen diferencias entre los indicadores espirométricos de una población de adultos del área metropolitana del Valle de Aburrá y de municipios vecinos según varía la exposición al hábito de fumar y ambientes contaminados con material particulado?

Responder al interrogante propuesto permitirá conocer en qué medida se afecta la función pulmonar por el tabaquismo y la contaminación atmosférica, de manera adicional se propone un análisis sobre cuál puede ser la afectación en la función pulmonar ante la presencia simultánea de estos dos factores, lo anterior con el fin de anticipar el daño estructural del pulmón que sigue a la alteración funcional y procurar así la reducción la morbi-mortalidad que estas condiciones acarrearán a la salud de las personas.

De otra parte, este estudio también es una oportunidad para reconocer la importancia de la epidemiología ambiental, considerar sus potencialidades en estudios de vigilancia ambiental, monitoreo de la calidad del aire, impacto ambiental sobre la salud de las poblaciones y la promoción de políticas públicas a favor del mejoramiento del ambiente.

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo General

Analizar el efecto de la asociación entre la alteración de la función pulmonar medida por indicadores espirométricos con la exposición al tabaco y los altos niveles de material particulado  $<10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , en una población adulta del área metropolitana del Valle de Aburrá y municipios vecinos.

### 2.2 Objetivos Específicos

Evaluar los indicadores espirométricos en una población adulta del área metropolitana del Valle de Aburrá y municipios vecinos en relación con:

- Características sociodemográficas
- La exposición al tabaquismo
- La exposición a la exposición de contaminación atmosférica por material particulado  $<10 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Explorar el comportamiento de la función pulmonar en la población de estudio bajo cuatro circunstancias diferentes:

- Exposición al tabaquismo
- Exposición a la contaminación atmosférica por material particulado  $<10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Exposición a tabaquismo y contaminación atmosférica por material particulado  $<10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Ausencia de exposición a los factores antes mencionados

## 3. Marco teórico

### 3.1 Tabaco

#### 3.1.1 Antecedentes históricos del tabaquismo

El consumo de tabaco fumado se remonta al año 2000 a.C. y tiene su origen en la cultura Maya, según los historiadores, fue esta comunidad quienes iniciaron la práctica de fumar, (CIKAR en lenguaje Maya), ellos lo comercializaban entre sus pueblos como un producto más y lo extendieron a lo largo de América.<sup>(8)</sup>

El tabaco era usado por los nativos con fines algo distintos a los actuales, usaban las hojas de la planta de tabaco, a la que llamaban *cohiva*, la mascaban o la quemaban sobre carbones encendidos, y aspiraba el humo que se desprendía con ayuda de unas cañas huecas que denominaban tabaco, por lo general era realizada con fines medicinales y ceremoniales.<sup>(9)</sup> En algunas ocasiones también lo usaban simplemente por placer o como estimulante en situaciones de adversidad.<sup>(8)</sup>

Tras la llegada de los españoles, este producto fue llevado a Europa por Rodrigo de Jerez, situación por la cual fue hecho prisionero durante años por la inquisición, por que en aquella época se decía, que solo el diablo podía echar humo por la boca. Paradójicamente, años más tarde cuando se difundió la idea que el tabaco podría llegar a curar hasta 65 enfermedades, incluyendo el asma, el médico sevillano Nicolás Monardes, realizó la aclimatación de la semilla del tabaco que posteriormente fue cultivada, comercializada y consumida en gran parte de Europa y el mundo, argumentando propiedades terapéuticas, situación que dio pie al surgimiento de una de las más lucrativas empresas promovida y administrada por algunos Estados de Europa.

La *nicotina tabacum*, es el nombre científico que se le ha dado al tabaco. Se trata de una planta herbácea, de origen tropical y altamente resistente al cambio climático. Pertenece a la familia de las solanáceas. Es de hojas grandes y largas que se arrancan del tallo, para posteriormente incorporarlas a un proceso de secado y procesamiento para producir lo que hoy llamamos tabaco y comercializarlo en forma de cigarrillos, tabacos, picadura, pasta, entre otros.

#### 3.1.2 Tabaquismo y riesgos para la salud

La importancia del tabaco hoy en día, radica en que es reconocido como un importante factor de riesgo para presentar múltiples enfermedades. Entre ellas: cáncer de pulmón, nariz, boca, orofaringe, hipofaringe, laringe, esófago, estomago, páncreas, hígado, colon, cuello uterino y leucemia mieloide,<sup>(10)</sup> enfermedad arterial oclusiva, aneurisma de aorta, cardiopatía isquémica, enfermedad cerebrovascular, EPOC e infecciones de las vías respiratorias bajas, entre otras. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) entre las primeras causas de muerte en el mundo en el 2030, se contarán las cardiovasculares y las respiratorias.<sup>(11)</sup>

Uno de los estudios entre la incidencia de cáncer y el hábito de fumar realizado en Medellín Colombia, dejó en evidencia que el hábito de fumar es un factor de riesgo más importante para desarrollar cáncer en esta población. El riesgo relativo más alto fue el de cáncer de laringe (OR 49,4) y de pulmón (OR 13,9).<sup>(12)</sup> Con relación a este punto, estudios de la OMS afirman que en cerca del 90% de los casos de cáncer de pulmón ha encontrado relación con el hábito de fumar.<sup>(11)</sup>

El uso de tabaco, también, se ha asociado con el riesgo de padecer Infarto Agudo de Miocardio (IAM), especialmente en hombres. Según el estudio INTERHEART fumar incrementa tres veces el riesgo de tener infarto agudo de miocardio (OR 2,95 IC95% 2,7–3,2) y aumenta en proporción al número de cigarrillos fumados. Por cada cigarrillo adicional que una persona consume en promedio durante el día, se estima que el riesgo de sufrir IAM se incrementa en un 5-6%.<sup>(13)</sup>

Otra de las patologías relacionadas con el consumo de tabaco es la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC), enfermedad que aporta gran carga de morbilidad y mortalidad, sin mencionar los altos costos para el sistema de salud y las implicaciones en la calidad de vida de los pacientes. La EPOC se define en la actualidad como un proceso patológico caracterizado por obstrucción del flujo aéreo, no completamente reversible y progresivo, asociado con una respuesta inflamatoria anormal de los pulmones por la inhalación prolongada de humo de cigarrillo u otras partículas o gases nocivos. Dentro de los elementos más relevantes de la definición de la EPOC se encuentran la presencia de una respuesta inflamatoria anormal y la necesaria alteración funcional obstructiva caracterizada una espirometría anormal.<sup>(14, 15)</sup>

La EPOC ha cobrado protagonismo como problema de salud pública debido a que en los últimos años la prevalencia, la incidencia y la mortalidad atribuibles a esta enfermedad muestran una tendencia al aumento. En el 2004 la EPOC ocupaba el 4 lugar entre las primeras causas de muerte en el mundo, con un porcentaje para ese año atribuible de 5,1%. Para el 2030 se espera que ocupe el 3 lugar y que la prevalencia ascienda a 8,6%, la OMS advierte que dicho incremento se asocia a tendencias en el aumento de consumo de tabaco.<sup>(11)</sup>

La EPOC también es fuente de preocupaciones económicas, la OMS y el Banco Mundial estimaron el impacto social en términos de años de vida saludable perdidos (AVISA), como consecuencia de la incapacidad y mortalidad atribuibles a esta enfermedad. En 1990 la EPOC era la duodécima causa de AVISA y de acuerdo a proyecciones será la quinta causa de AVISA en el 2020, después de la enfermedad isquémica del corazón, la depresión mayor, los accidentes de tránsito y la enfermedad cerebrovascular.<sup>(16)</sup>

En Colombia recientemente se realizó el estudio PREPOCOL (Prevalencia de EPOC en Colombia), muestra que la EPOC es un problema importante de salud en nuestro país. Emplearon para el diagnóstico definición médica (¿Ha tenido usted bronquitis crónica, enfisema o EPOC confirmado por un doctor?), definición clínica de bronquitis crónica y espirometría funcional anormal (FEV1/CVF <70% pos broncodilatador). Según este último criterio, determinaron la prevalencia para Colombia en 8,9% (6,2% Barranquilla, 7,9% Bogotá, 8,5%, Bucaramanga, 8,5% Cali y 13,5% Medellín). De las personas con diagnóstico de EPOC por criterio espirométrico, solo 42,7% tenían diagnóstico médico previo, por otra parte se encontró que el 76% de las personas con diagnóstico médico de EPOC no

cumplían criterios de obstrucción funcional, resaltando con estos hallazgos la importancia de incluir la espirometría funcional como uno de los criterios más aceptados para clarificar la presencia de EPOC.<sup>(14)</sup>

Según el análisis de regresión logística en el estudio mencionado, el modelo mostró que los factores relacionados con EPOC en Colombia son: edad, género masculino, historia de tuberculosis, fumar, bajo nivel educativo y cocinar con leña. <sup>(14)</sup>

La mayoría de estudios realizados concluyen que el principal factor de riesgo para el desarrollo de EPOC es el tabaquismo. 80% de los pacientes con esta enfermedad, tienen historia de consumo de cigarrillos. Los fumadores de cigarrillo tienen una mayor mortalidad por EPOC, más alta prevalencia de síntomas respiratorios y una reducción del VEF<sub>1</sub> mayor que la observada en no fumadores, la cual se modifica favorablemente al abandonar el consumo.<sup>(15, 17)</sup>

### 3.1.3 Prevalencias de consumo de tabaco

No obstante, el tabaquismo continúa siendo un problema de grandes proporciones a nivel mundial. Aproximadamente el 35% de hombres de los países que cuentan con altos recursos económicos y consumen tabaco el 50% de los hombres que viven en países con bajos o medianos recursos. Por su parte, ya son 250 millones las mujeres fumadoras, las prevalencias informan que consumen tabaco es el 22% de las mujeres en los países con altos recursos y el 9% los de bajos y de medianos ingresos.<sup>(18)</sup>

En Colombia las prevalencias del consumo de tabaco en adultos durante los últimos años, están cercanas al 20%, según la última Encuesta Nacional de Salud, realizada en el año 2007 y de acuerdo al análisis realizado por el grupo de la Universidad de Antioquia, la prevalencia de tabaquismo en Colombia es de 19,7% en población general mayor de 18 años. Con relación al sexo ha sido variable, sin embargo, los hombres se caracterizan por tener las mayores prevalencias. Entre 1977 y 2007 el consumo de tabaco en hombres ha oscilado entre el 52,4% al 19,5% y el de las mujeres entre 26,2% al 7,4%. Anexo 1. En otras palabras, por cada mujer colombiana que fuma lo hacen entre 2 y 3 hombres, situación similar a la reportada a nivel mundial.

Si se evalúa el consumo de tabaco entre los más jóvenes la situación es alarmante, de acuerdo a la última Encuesta Nacional de Consumo de Sustancias Psicoactivas realizada en el año 2008, la prevalencia de consumo de tabaco entre jóvenes de 12 a 17 años es del 5,93% (4,9-6,95), entre los de 18 a 24 años de 20,85% (19,10-22,60) y entre los de 25 a 34 años de 19,19% (17,34-21,04). Según las estadísticas la media en la edad de inicio para el consumo regular de tabaco es de 17 años y se conoce además que, el 50% de los fumadores ha probado el cigarrillo antes de los 16 años y el 25% lo ha hecho antes de los 14 años.<sup>(19)</sup>

## 3.2 Contaminación atmosférica

### 3.2.1 Definición

El término contaminación aérea, conocida en inglés como air pollution, es aplicado a “sustancias químicas, físicas (material particulado) o agentes biológicos que modifican las características de la atmósfera”.<sup>(20)</sup> Hasta el momento se reconocen seis contaminantes aéreos dañinos para la salud humana: monóxido de carbono (CO), plomo, dióxido de nitrógeno, ozono, material particulado y dióxido de sulfuro. La presencia de cualquiera de estas sustancias en el aire es criterio de contaminación. Por lo general, estos contaminantes provienen de la quema de combustibles fósiles como el carbón, gas natural y petróleo o de la combustión de la madera.

Específicamente, en este estudio, se hablará de la contaminación atmosférica por uno de estos contaminantes, el Material Particulado Respirable (Particulate Matter o PM, término conocido en inglés). Es un complejo de pequeñas partículas y gotas de líquidos suspendidas en el aire. El PM está formado por ácidos, químicos orgánicos, metales, tierra y partículas de polvo y alérgenos.

El PM difiere en tamaño, existe PM de tamaño inferior a 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) representa las partículas aéreas que por lo general pueden llegar hasta el sistema pulmonar. Además, se han identificado partículas de tamaño inferior a 2,5  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2,5}$ ), tan pequeñas como un 1/30 de cabello humano, con capacidad para penetrar hasta el torrente sanguíneo. Las partículas  $\text{PM}_{10}$  pueden estar suspendidas en el aire durante minutos o horas y viajar hasta 30 millas de distancia, mientras que las  $\text{PM}_{2,5}$  pueden permanecer por días o semanas y viajar cientos de millas a través del aire.<sup>(5)</sup>

La OMS, se ha visto en la obligación de promulgar directrices para la conservación del aire limpio con el objetivo de preservar la salud de la humanidad. Como parte de las directrices se encuentra la reducción gradual de las emisiones en todos lugares donde se presente el problema, a la par que se pongan en marcha políticas para reducir la contaminación, La OMS recomienda no sobrepasar por más de tres días al año niveles superiores a 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{10}$  (para picos de contaminación de corta duración) y 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para exposiciones de larga duración.

Sin embargo para prevenir daños sobre la salud, los niveles recomendados deben ser menores de 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Los niveles de precaución internacional máximos según las directrices de la OMS se presentan en la tabla 1.<sup>(21, 22)</sup>

**Tabla 1. Directrices para calidad del aire según partículas en suspensión OMS**

Directrices OMS para partículas en suspensión		
PM <sub>2,5</sub> *	PM <sub>10</sub> *	Promedio
10	20	Anual
25	50	24 horas

\*µg/m<sup>3</sup>

En el mismo sentido la EPA de los Estados Unidos ha propuesto un índice para la monitorización diaria de la calidad del aire (AQI, Air Quality Index) para identificar los niveles de diversos contaminantes según el grado de afectación que tengan sobre la salud humana y es representado a manera de un código de colores. Según esta entidad el nivel máximo permisible de PM<sub>10</sub> es de 70 µg/m<sup>3</sup> como promedio anual y de 150 µg/m<sup>3</sup> para exposiciones de 24 horas. Este índice es acogido en la ciudad de Medellín y se retomará más adelante. <sup>(5)</sup>Tabla 2.

**Tabla 2. Índice de calidad del aire EPA**

Índice de calidad del aire según nivel de material particulado		
Nivel PM*	Calidad del aire	Recomendaciones
0-50	Bueno	Ninguna
51-100	Moderado	Considerar evitar al exposición prolongada
101-150	No saludable para grupos de personas susceptibles	Reducir la exposición en grupos de personas susceptibles**
151-200	Malo para la salud	Evitar la exposición en grupos de personas susceptibles**
201-300	Muy malo para la salud	Evitar la exposición en grupos de personas susceptibles** y no hacer actividad física al aire libre.

\* µg/m<sup>3</sup> \*\*Personas con enfermedad cardíaca o pulmonar, ancianos, niños.

### 3.2.2 Contaminación atmosférica y riesgos para la salud

La alta concentración de material particulado en el aire que respiramos tiene efectos adversos sobre la salud, dada la mencionada capacidad para llegar hasta los alvéolos pulmonares, e incluso traspasar la barrera alvéolo-capilar y de allí, ingresar al torrente sanguíneo, produciendo efectos nocivos para la salud.<sup>(23)</sup> La OMS/OPS estima que el cambio porcentual de la mortalidad diaria por aumento de 10 µg/m<sup>3</sup> en el PM<sub>10</sub> en América Latina es de 0,61% (IC 95% 0,16-1,07) por todas las causas de muerte en todas las edades y de 0,86% (IC 95% 0,49;1,24) por todas las causas de muertes en el grupo de ancianos. <sup>(24)</sup>

Estudios proveen evidencia que a largo plazo la exposición en el aire contaminado de las grandes metrópolis es un importante factor de riesgo para la mortalidad de origen cardiopulmonar.<sup>(22, 25)</sup> También se ha demostrado la asociación entre la presencia de contaminación área por material particulado fino y el aumento del riesgo de la mortalidad por enfermedades cardiopulmonares y cáncer de pulmón.<sup>(15, 25)</sup> Por cada aumento el 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de concentraciones ambientales de  $\text{PM}_{2.5}$  se asocio con un exceso de riesgo de mortalidad en 4%, 6% y 8% por todas las causas, por cardiopulmonares y por cáncer de pulmón respectivamente. En ese mismo estudio después de controlar por hábito de fumar y otras variables persistió la asociación entre la contaminación atmosférica y la mortalidad por cáncer de pulmón y las enfermedades cardiopulmonares.<sup>(25)</sup>

Al parecer la exposición a material particulado es un factor causal de mortalidad cardiovascular, gracias a mecanismos que incluyen inflamación del sistema inmune pulmonar, aterosclerosis acelerada y alteración de la función autónoma del sistema cardiovascular.<sup>(26)</sup>

### 3.2.3 Contaminación atmosférica en Colombia

El ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de la Republica de Colombia, ha declarado que la contaminación del aire en las ciudades Colombianas es un problema ambiental de gran preocupación y generador de los mayores costos sociales junto con la contaminación del agua y los desastres naturales. Dentro de los problemas de contaminación aérea las PST y PM son los principales contaminantes. De acuerdo con los datos del último informe del IDEAM sobre Calidad del Aire de diciembre de 2007, algunos de los sitios más contaminados del país coinciden con zonas donde se encuentran agrupadas las industrias, es decir, donde existe concentración de fuentes fijas. Este mismo organismo informa que en Colombia Barranquilla, Bogotá, Medellín, Bucaramanga, Cali, Cartagena y Sogamoso, se concentran más de 2800 fuentes fijas industriales de emisión y superan los límites que norma la OMS para  $\text{PM}_{10}$  fijados para prevenir los efectos sobre la salud humana y el entorno biofísico.<sup>(27)</sup>

Un estudio realizado en Colombia por El Banco Mundial estima que el costo anual de la contaminación atmosférica urbana en este país asciende a 980 miles de millones de pesos por cáncer de pulmón y enfermedades cardiopulmonares, y a 520 miles de millones de pesos por enfermedades respiratorias, además estima que aproximadamente 6000 muertes prematuras a al año son asociadas con la contaminación del aire.<sup>(28)</sup>

### 3.2.4 Contaminación atmosférica en Medellín

Bedoya J y Martínez E, reportaron en un estudio realizado durante el periodo 2001-2007 sobre calidad de aire del Valle del Aburrá con base en datos primarios recolectados por la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire. Según esta investigación las concentraciones de PST y  $PM_{10}$  exceden entre 200 y 400% los límites definidos por la OMS para un aire de buena calidad.<sup>(29)</sup>

Los promedios anuales de PST en las diversas estaciones de Medellín y del área metropolitana oscilaron entre  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Los niveles más altos se reportan en los sectores del centro del Valle de Aburrá como Medellín, Bello, Itagüi, Envigado y Sabaneta (en promedio  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Los sectores periféricos como Barbosa, Copacabana, Giradota y la Estrella tienen niveles más bajos ( $50\text{-}80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Las variaciones diarias encontradas oscilaron entre  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en los momentos de alta congestión vehicular, cifras muy superiores a las indicadas por la OMS.<sup>(22)</sup> Se encontró adicionalmente, un incremento anual en las PST de  $4,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (IC95% 2,19–5,48) durante el periodo de estudio.<sup>(29)</sup> Figura 1.

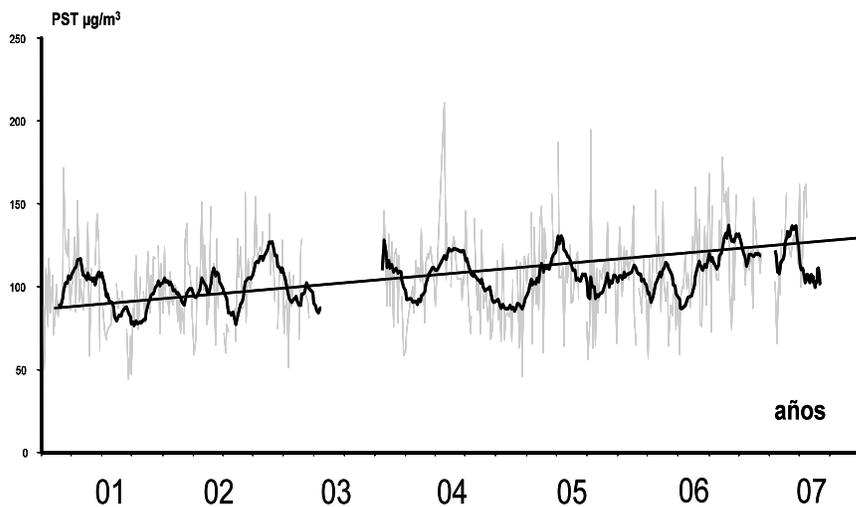


Figura 1. Concentración de partículas suspendidas en el aire. Medellín 2001–07

La medición del nivel de PM<sub>10</sub> en la ciudad de Medellín, es de una época más reciente. Se cuenta con datos desde el 2007 donde se registra promedios que oscilan entre 28 y 124 µg/m<sup>3</sup>, con un promedio general de 65,3 µg/m<sup>3</sup>. Al momento de este estudio solo se obtuvo datos de las estaciones de Guayabal, Corantioquia y Aguinaga. Las mediciones registraron valores promedios diarios entre 80 y 100 µg/m<sup>3</sup> con niveles mínimos de 30 – 40 µg/m<sup>3</sup> y máximos entre 200 – 300 µg/m<sup>3</sup> en los momentos de alta congestión vehicular. Niveles muy superiores a los recomendados por la OMS, lo más crítico es que al igual que lo que ocurre con las PST la tendencia es al aumento y se ha calculado en 2.6 µg/m<sup>3</sup> (IC 95% 1,0 – 4,2) por año.<sup>(29)</sup> Figura 2

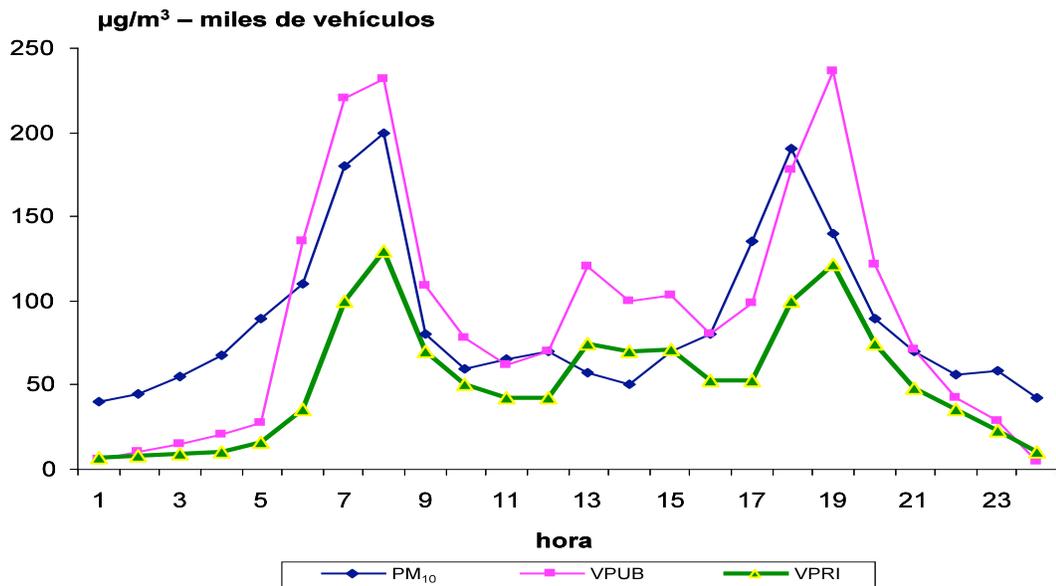


Figura 2. Ciclo diario de PM<sub>10</sub> y tránsito vehicular: promedios horarios Medellín y Área Metropolitana

En el informe más reciente sobre la calidad del aire en las laderas del Valle de Aburrá, publicado en 2008, realizado con monitoreos de PM<sub>10</sub> en ciclos de 24 horas, ubicados en las estaciones de Aguacatala, Girardota, Carlos Holguín, Robledo, Santa Mónica y Sabaneta se encuentra en un valor promedio de 60 µg/m<sup>3</sup>, siendo el punto más crítico el ubicado en la Aguacatala donde el PM<sub>10</sub> promedio es de 90 µg/m<sup>3</sup> y ha alcanzado picos hasta de 171,3 µg/m<sup>3</sup>. Llama la atención que la norma para la calidad del aire del Área Metropolitana del Valle de Aburrá reinterpreta la norma de la OMS y acepta como permisible promedios de PM<sub>10</sub> hasta de 150 µg/m<sup>3</sup> para exposiciones de 24 horas y 70 µg/m<sup>3</sup> para exposiciones anuales.<sup>(30)</sup> En el anexo 2, se presenta un detalle de la exposición al PM<sub>10</sub> en las estaciones mencionadas.

### 3.2.5 Determinación de la contaminación atmosférica en Medellín

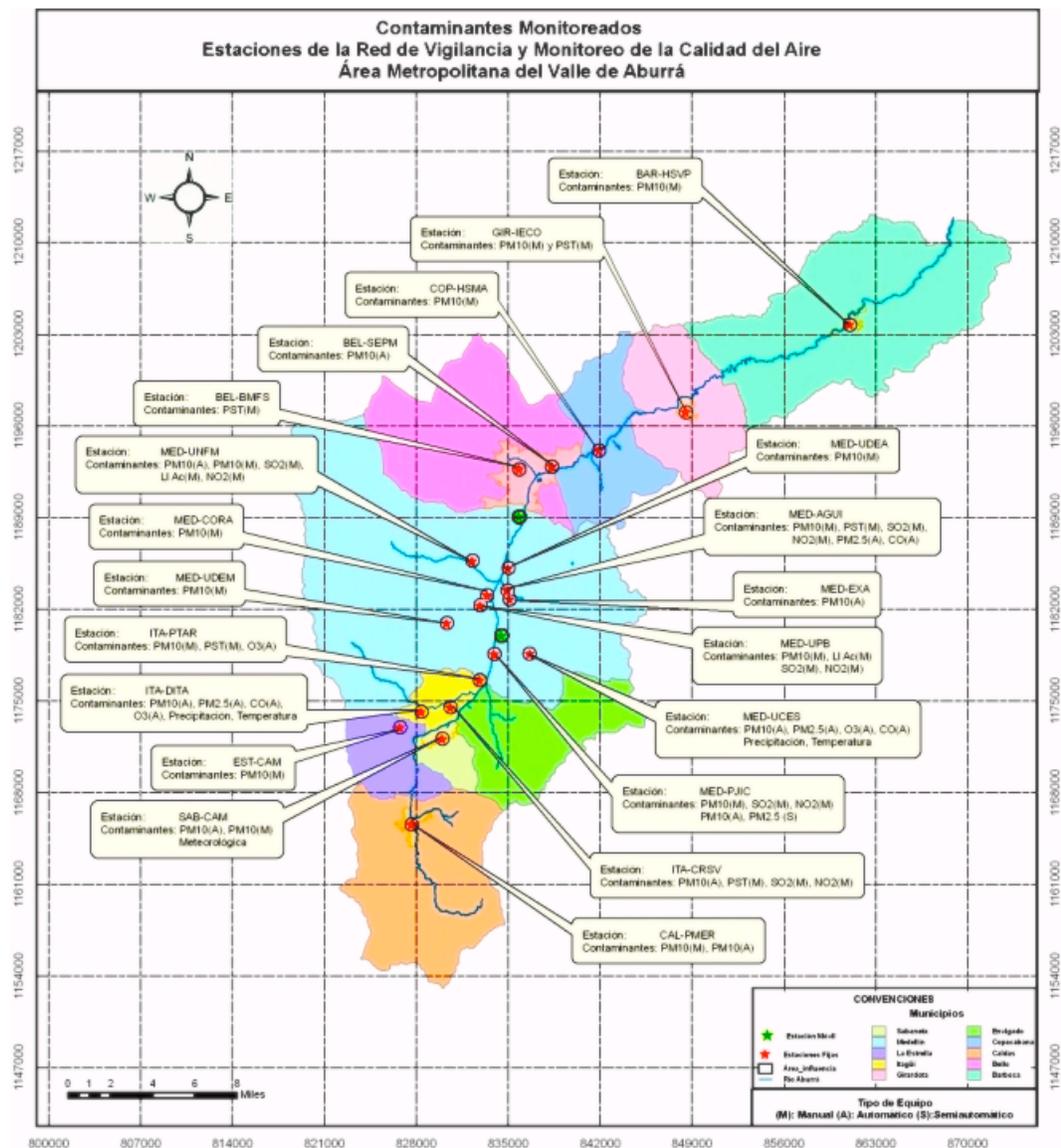
El procedimiento para la determinación de la concentración de  $PM_{10}$  en la atmósfera de la ciudad de Medellín se realiza mediante el método de alto volumen (para velocidades de flujo  $>0,5 \text{ m}^3/\text{min}$ ), este se utiliza para muestreos de material particulado con un diámetro aerodinámico menor o igual a  $10 \text{ }\mu\text{m}$  presente en el aire durante un periodo de 24 horas.

El principio del método incluye un muestreador que arrastra el aire ambiente a una velocidad de flujo constante hacia una entrada donde el PM se separa por inercia según el calibre de las partículas y es recolectada en filtros especiales que varían según el tamaño de PM que captan. Cada filtro se pesa en una balanza analítica (teniendo en cuenta equilibrar la humedad) antes y después de usarlo, para determinar el peso neto ganado tras la recolección de  $PM_{10}$ , la balanza debe contar con una sensibilidad de  $0,1 \text{ mg}$  para muestreadores de alto volumen. El volumen de aire muestreado, se determina a partir de las velocidades de flujo medida y el tiempo de muestreo, corrigiendo estos datos por las condiciones ambientales de referencia ( $25^\circ\text{C}$ ,  $101,3 \text{ kPa}$ ).

La concentración másica de  $PM_{10}$  en el aire ambiente se calcula como la masa total de partículas recolectadas en el filtro que corresponde al intervalo de tamaño para PM con tamaño igual o menor de  $10 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ , dividido por el volumen de aire muestreado expresado en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Los muestreadores pueden medir concentraciones másicas de  $PM_{10}$  durante 24 horas de hasta  $300 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$  de referencia, mientras se mantengan las velocidades de flujo de operación dentro de los límites especificados.

La precisión de los muestreadores de  $PM_{10}$  es de  $5 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$  para concentraciones de menos de  $80 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Entre las fuentes potenciales de errores en las mediciones se encuentran: a) las partículas volátiles; algunas se pierden durante el envío o almacenamiento de los filtros y esto puede afectar el pesaje de la muestra. b) los instrumentos; es posible que se retengan especies gaseosas en los filtros en especial dióxido de azufre y ácido nítrico, pero esto no sucede si se emplean los filtros apropiados. c) la humedad; es inevitable, pero se compensa con procedimientos de cálculo para minimizar el error. d) el manejo del filtro; se requiere de un cuidadoso manejo del filtro entre el pre-muestreo y el pos-muestreo, para ello se inspecciona cuidadosamente el filtro antes de iniciar el muestreo y se siguen las recomendaciones del fabricante. e) las variaciones en la velocidad del flujo; la magnitud de este error depende de la sensibilidad de las variaciones en la velocidad de flujo y la distribución de partículas en la atmósfera durante el periodo de muestreo. f) la determinación del volumen de aire; este error puede surgir por dificultades para la determinación de las velocidades del flujo y el tiempo de muestreo.

Para minimizar dichos problemas, existen mecanismos de control bien documentados para cada uno de estas fuentes potenciales de error y existe en la ciudad de Medellín un manual técnico con recomendaciones para realizar el procedimiento de determinación de  $PM_{10}$ . Que contiene entre otros, las recomendadas de las condiciones ambientales para efectuar las mediciones de los filtros, las especificaciones técnicas de los instrumentos, los métodos de calibración, los procedimientos detallados del muestreo y los cálculos recomendados para determinar las velocidades del flujo promedio durante el periodo de muestreo.<sup>(31)</sup> Actualmente la ciudad cuenta con monitores para la medición del  $PM_{10}$  en 19 estaciones distribuidas a lo largo del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Figura 3



**BAR-HSVP** (Hospital San Vicente de Paúl, Barbosa); **GIR-IECO** (Institución Educativa Colombia, Girardota); **COP-HSMA** (Hospital Santa Margarita, Copacabana); **BEL-BMFS** (Biblioteca Marco Fidel Suarez, Bello); **BEL-SEPM** (Subestación Energía EPM, Bello); **MED-UEDEA** (Universidad de Antioquia, Medellín); **MED-AGUI** (Edificio Miguel de Aguinaga, Medellín); **MED-UNFM** (Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Medellín); **MED-CORA** (Corantioquia, Medellín); **MED-UPB** (Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín); **MED-UEDEM** (Universidad de Medellín, Medellín); **MED-PJIC** (Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín); **MED-EXSA** (Éxito de San Antonio, Medellín); **MED-UCES** (Universidad CES, Medellín); **ITA-CRSV** (Colegio El Rosario Sociedad San Vicente de Paúl, Itagüí); **ITA-PTAR** (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Fernando, Itagüí); **ITA-DITA** (Parque Ditaires, Itagüí); **EST-CAM** (Centro Administrativo Municipal La Estrella, La Estrella); **SAB-CAM** (Centro Administrativo Municipal Sabaneta, Sabaneta); **CAL-PMER** (Plaza de Mercado de Caldas, COPERPLAZA, Caldas).

**Figura 3 . Red de monitoreo de la calidad del aire del Área Metropolitana del Valle de Aburrá**  
**Estaciones de servicio. <sup>(31)</sup>**

### 3.3 Evaluación de la función pulmonar

Tanto el tabaquismo como la contaminación atmosférica por material particulado, tienen implicaciones para la salud de las personas. Una forma de evaluar la función respiratoria es conocer cuanto aire pueden contener los pulmones de las personas, la cantidad de aire que pueden espirar y la rapidez con que lo hacen. Lo anterior es posible gracias a algunas pruebas diagnósticas, de las cuales la espirometría es una de las más conocidas y usadas.<sup>(32)</sup>

#### 3.3.1 La espirometría

Las mediciones de la función pulmonar se puede realizar con unos instrumentos llamados espirómetros, consisten en una boquilla y un tubo conectado a un dispositivo de registro. Los sujetos a quienes se les realiza ésta prueba, deben inspirar profundamente, luego espiran con fuerza y lo más rápidamente posible a través de la boquilla, durante este tiempo el instrumento mide y registra los volúmenes de aire que son inhalados y exhalados durante la respiración, además, relaciona las medidas de flujo de aire que se obtiene de una respiración, emitiendo así diferentes indicadores de la capacidad y la eficiencia pulmonar. Figura 4

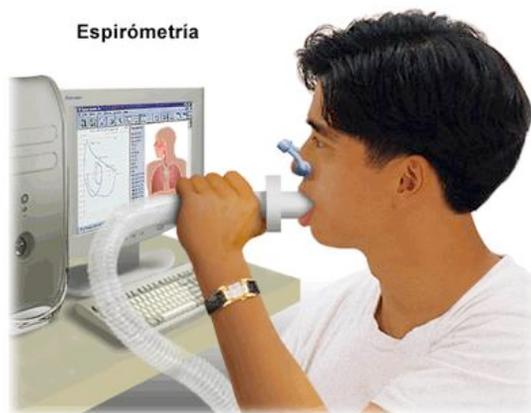


Figura 4. Realización de una espirometría

Los indicadores de funcionalidad pulmonar más conocidos son los flujos, los volúmenes y las relaciones flujo/volumen. Los flujos indican eficiencia del sistema respiratorio, pueden expresarse como velocidades del flujo de aire inspirado o espirado en un momento dado o en un tiempo determinado, los volúmenes indican capacidad pulmonar y las relaciones flujo/volumen indican una medida ajustada de las variables.

### 3.3.2 Historia de la espirometría

La historia de la espirometría se remonta a la época de Daniel Bernoulli en 1749, planteó su teoría para medir el volumen espiratorio. En 1813 Edward Kentish diseñó un instrumento que llamó el "pulmómetro". Sin embargo fue el investigador Jhon Hutchinson (1811-1861) médico, de la Universidad Londres, fue quien en 1846 publicó el primer artículo que demostraba la utilidad diagnóstica y preventiva de la espirometría. Usando un espirómetro de agua salada midió la capacidad vital pulmonar de un grupo de personas asintomáticas en riesgo de tener tuberculosis. Otro de los estudiosos de la espirometría fue Robert Tiffeneau (1910-1961), fisiólogo y farmacólogo francés, estudió el sistema respiratorio y la broncomotricidad, describió la CVF, la relación que existía entre la CVF y el VEF1, la severidad de los transtornos ventilatorios según el deterioro de la CVF, realizó estudios broncodinámicos con adrenalina, acetilcolina y corticoides en asma y diseño aparatos para generar aerosoles. Figura 5 y 6

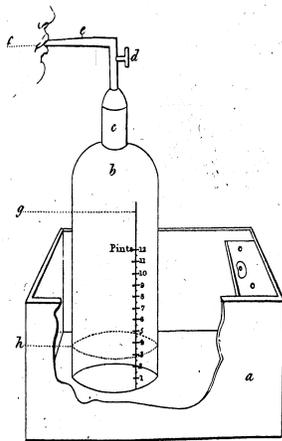


Figura 5. Pulmómetro de Edward Kentish 1813.

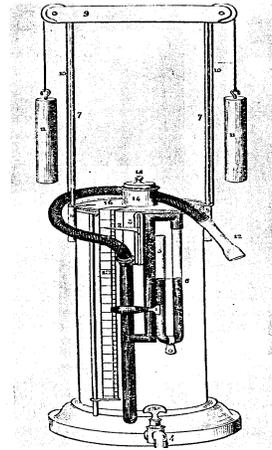


Figura 6. Espirómetro de Jhon Hutchinson 1852



Figura 7. Espirómetro moderno

En la actualidad se cuenta con espirómetros portátiles. Que utilizan medidores de alta precisión con tecnología de punta, que se adapta a la medición de bajos flujos como los obtenidos en pacientes EPOC y Asma, además utiliza sistemas integrados a pequeños computadores, pantallas digitales e impresoras externas que les permite imprimir resultados de manera inmediata. Figura 7

### 3.3.3 Tipos de espirometrías

Existen dos tipos de espirometrías: simple y forzada. En la espirometría simple se solicita al paciente que tras una inspiración máxima, expulse todo el volumen de aire que sea capaz, utilizando para ello todo el tiempo que necesite de ahí el nombre de espirometría simple o no forzada. Por el contrario, la espirometría forzada implica solicitar al paciente la expulsión de todo el aire que contenga en sus pulmones tras una inspiración profunda en el menor tiempo posible (forzada). La información que se obtiene de cada una de estas técnicas es diferente.

El paciente debe sentarse en una silla en la postura correcta, verticalmente y con los pies firmemente asentados sobre el suelo, se le hace respirar a través de la boquilla del espirómetro, manteniendo bien cerrados los labios alrededor de la misma, el paciente debe llevar unas pinzas nasales para que el aire no se coja ni se escape por la nariz. Una vez cómodamente sentado se solicita al paciente que realice una inspiración máxima y que a continuación expulse por completo el aire de sus pulmones utilizando todo el tiempo que necesite, el registro que se obtiene mediante esta maniobra es el de una espirometría simple.

Finalizada la espirometría simple se realizan las maniobras de la espirometría forzada, es la misma técnica sólo que en este caso tras la inspiración profunda se solicita al paciente que expulse el aire lo más rápidamente que pueda y hasta donde pueda.

Se deben realizar al menos tres maniobras que sean reproducibles (con valores muy similares) y la mejor de las tres es la que se considera en la evaluación del paciente.

Las mediciones espirométricas son dependientes del esfuerzo; por tanto es absolutamente esencial animar al paciente para conseguir determinaciones válidas.

### 3.3.4 Indicaciones y contraindicaciones

Entre las indicaciones de la espirometría se encuentran las de índole diagnóstico, de monitoreo o seguimiento, para evaluar la capacidad funcional y de salud pública.<sup>(33, 34)</sup>

a. Diagnóstico

- Evaluación de signos, síntomas o resultados anormales de exámenes
- Evaluación del efecto de la enfermedad sobre la función pulmonar
- Tamizaje de individuos con riesgo de enfermedad pulmonar
- Evaluación del riesgo quirúrgico
- Evaluación de pronóstico

b. Monitoreo

- Evaluación de intervenciones terapéuticas
- Descripción del curso de las enfermedades que afectan el pulmón
- Monitoreo de personas con exposición a agentes nocivos para el pulmón
- Monitoreo de reacciones adversas de drogas sobre el pulmón

c. Limitación e incapacidad

- Determinación de limitación e incapacidad en medicina laboral, evaluación
- de riesgo en caso de seguros y evaluación dentro de programas de rehabilitación

d. Salud pública

- Estudios epidemiológicos y derivación de ecuaciones de referencia

Las contraindicaciones son muy pocas, en general se considera una prueba diagnóstica de muy bajo riesgo. Solo en casos de enfermedad grave como las siguientes se recomienda no realizar la espirometría.

- Hemoptisis de causa desconocida
- Neumotórax
- Inestabilidad cardiovascular o pulmonar: infarto reciente, tromboembolismo pulmonar reciente, arritmia no controlada
- Aneurisma torácico, abdominal o cerebral
- Cirugía ocular reciente
- Cirugía abdominal o torácica reciente

### 3.3.5 Criterios de una espirometría satisfactoria

Debido a todos los detalles que hay que cuidar en la maniobra de espirometría que conocemos, debe existir una manera de determinar cuándo una espirometría es confiable o satisfactoria.

Existen dos características que indican si una espirometría es satisfactoria, la aceptabilidad y la reproducibilidad: <sup>(33, 34)</sup>

### *Aceptabilidad*

#### a. Está libre de artefactos

- Evitar retardo al comenzar la maniobra luego de dada la señal
- Evitar inicio de manera rápida
- Detectar la presencia de tos o cierre de glotis, fugas de aire, obstrucción de la boquilla
- Evitar que termine repentinamente la espiración o se haga un esfuerzo variable.

#### b. Tiene un buen comienzo

- Volumen extrapolado <5% de la CVF o 0,15 L o
- Tiempo para PEF <120ms

#### c. Tiene exhalación satisfactoria

- Se recomienda un mínimo de 6 segundos de espiración a menos que se puede observar una meseta de duración razonable
- El paciente no puede continuar exhalando

### *Reproducibilidad*

Como se debe repetir la maniobra un mínimo de tres veces, se debe de asegurar que haya similitud entre estas, dado que si hay diferencia significativa entre las tres, se infiere que no se está realizando correctamente y, por tanto, no es confiable la prueba. Para asegurar esto:

- Los dos CVF mayores de las maniobras deben tener más de 0.2 L entre ellos
- Los dos VEF<sub>1</sub> mayores de las maniobras deben tener más de 0.2 L entre ellos

Si los criterios anteriores de aceptabilidad y reproducibilidad se cumplen, la sesión concluye. Si ninguno de los criterios se cumple se debe continuar hasta cumple ambos criterios, completar ocho espirogramas o si el paciente no puede continuar.

### 3.3.6 Indicadores espirométricos

Los principales volúmenes que se pueden obtener con una espirometría son: la capacidad vital forzada (CVF); representa el volumen total espirado en forma forzada luego de una inspiración máxima, el volumen corriente (VC); volumen de aire que entre y sale con cada movimiento respiratorio espontáneo, el volumen de reserva espiratorio (VRE); volumen que se puede exhalar al término de una espiración de volumen corriente, el volumen de reserva inspiratoria (VRI); volumen que puede ser inspirado por encima del volumen corriente, la capacidad inspiratoria (CI); suma de volumen corriente y del volumen de reserva inspiratorio.<sup>(35)</sup> El volumen corriente depende

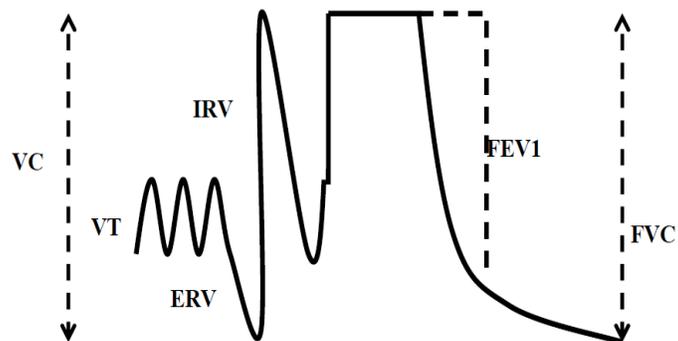
fundamentalmente del peso, estando en torno a los 8-10 cc/Kg de peso. La reserva espiratoria se corresponde con un tercio de la capacidad vital. La reserva inspiratoria equivale a dos tercios de capacidad vital menos el volumen corriente. Figura 7, Anexo 3.

Existen mediciones de volumen en el tiempo, el más importante es el llamado volumen espiratorio forzado en el primer segundo ( $VEF_1$ ); indica el volumen aéreo que una persona es capaz de evacuar de sus pulmones desde una inspiración máxima y en el transcurso de un segundo. Este indicador se ha empleado como “prueba de oro” para detectar la obstrucción al flujo aéreo. Diversos estudios afirman que la reducción del  $VEF_1$  debe ser considerada como un marcador para identificar personas con patologías pulmonares que necesitan intervención médica.<sup>(36)</sup> Algunos autores han realizado mediciones del volumen espiratorio forzado además en la mitad de un segundo, en 3 y en 6 segundos de la capacidad vital. Figura 8, Anexo 3.

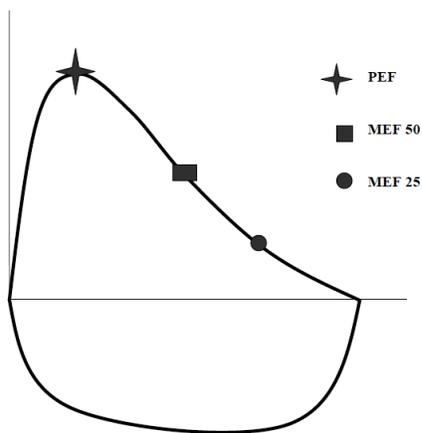
A su vez, es posible medir la velocidad o intensidad de la corriente de los volúmenes, a esto se le conoce en física como flujo, al relacionar en una curva los flujos y los volúmenes se puede evaluar la eficiencia del proceso ventilatorio temprana, media y tardía. Los puntos de la curva flujo volumen más importantes son: el flujo espiratorio pico (FEP), medida de máximo flujo espirado en un momento dado, los flujos medios ( $FEM_{25,50,75}$ ) medidos de manera puntual al 25 %, 50 % y 75 % de la capacidad vital y las velocidad del flujo medio ( $FEM_{25-75}$ ) medido en un intervalo de tiempo entre el 25 y el 50% de la capacidad vital pulmonar, también es conocido como flujo medio mesoespiratorio (MMEF).<sup>(35)</sup> Estos flujos representan mediciones parciales del flujo espiratorio registrado durante la prueba.<sup>(37)</sup> Los valores de flujo se expresan también en % de los valores de referencia pero, debido a su gran variabilidad, se consideran normales cuando superan el 65%. Figura 9, Anexo 3.

Finalmente la espirometría permite relacionar el flujo, el volumen y el tiempo, entre los indicadores de esta naturaleza se encuentra el  $VEF_1/CVF*100$ , también conocido como índice de Tiffeneau, uno de los indicadores más reconocidos y usados, permite expresar indicadores como la CVF que dependen de la edad y de las características antropométricas del sujeto; en especial de la talla, en forma de un porcentaje y de acuerdo a las consideradas como normales para una persona de las características físicas del sujeto estudiado. Algunos estudios consideran como normal, un valor de  $VEF_1/CVF*100$  igual o superior al 70 o al 80% del valor de referencia, previamente establecido según estudios epidemiológicos.<sup>(32, 38)</sup> Figura 10, Anexo 3.

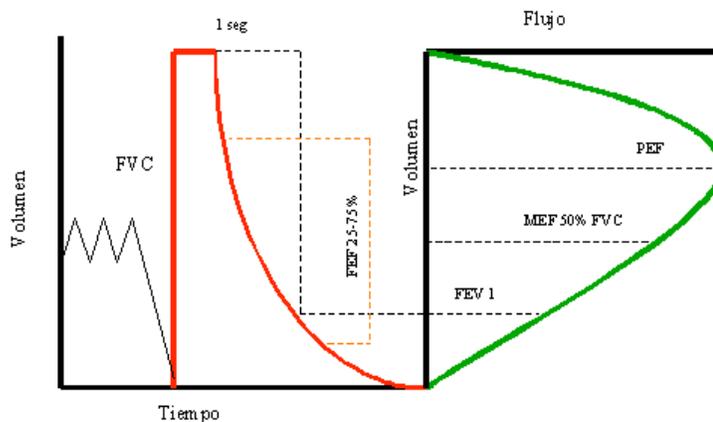
Con relación a este último punto, conviene mencionar que son múltiples los puntos de corte que utilizan las diferentes organizaciones académicas que discuten el tema, para considerar afectación de la función pulmonar. En el anexo 4, se describen los principales criterios para el diagnóstico de EPOC que se han utilizado desde 1983 hasta el 2005.



**Figura 8. Registro gráfico de la espirometría. Se registran cambios de volumen en tiempo.** VC: Capacidad vital. VT: Volumen corriente. ERV: Volumen de reserva inspiratorio. IRV: Volumen de reserva espiratorio. FEV1: Volumen espiratorio forzado en un segundo. FVC: Capacidad vital forzada.



**Figura 9. Registro gráfico de la curva flujo volumen (Velocidad de flujo instantáneo en un momento de volumen dado).** PEF: Flujo espiratorio máximo o pico. MEF50: Flujo máximo al 50% de capacidad vital. MEF25: Flujo máximo al 25% de capacidad vital.



**Figura10. Espirograma normal (curva volumen / tiempo) y curva de flujo / volumen**

## **IV. Metodología**

### **4.1 Tipo de estudio**

#### **4.1.1 Diseño del estudio**

Estudio descriptivo transversal con análisis ecológico parcial, usando una combinación de datos de mediciones individuales de la función respiratoria y grupales de mediciones de material particulado, para estudiar la asociación de la función respiratoria en dos grupos poblacionales similares en sus condiciones sociodemográficas, pero, que difieren en cuanto al hábito de fumar y al nivel de contaminación al que se exponen.

### **4.2 Población y área del estudio**

#### **4.2.1 Población**

Se analizaron 490 registros de personas adultas residentes en algunos sitios del área metropolitana del Valle de Aburrá, el corregimiento de Santa Elena y el oriente antioqueño a las que se les realizó una espirometría reciente, la cual cumplía con criterios de confiabilidad y reproducibilidad. Adicionalmente, se contaba con datos del promedio del nivel de exposición a PM<sub>10</sub>.

#### **4.2.2 Muestra**

Se analizó el universo de registros recolectados en la línea de Promoción de la salud del grupo de epidemiología. Los registros fueron recolectados en la línea de promoción de la salud y prevención del grupo de epidemiología a lo largo de varios proyectos durante los últimos 2 años.

### **4.3 Criterios de inclusión y exclusión**

#### **4.3.1 Criterios de inclusión**

Las personas evaluadas debían ser residentes permanentes es decir, vivir o trabajado durante la mayor parte de su vida en el área seleccionada según nivel de PM<sub>10</sub> y haber permanecido expuestos por lo menos durante 8 horas diarias a dicho nivel de material particulado al menos durante el último año. Las personas seleccionadas para realizarles la espirometría por lo general realizaban actividades laborales en condiciones de exposición al aire libre en zonas cercanas a las vías de circulación de vehículos, tanto en el Valle de Aburrá como en Oriente Antioqueño.

#### **4.3.2 Criterios de exclusión**

Registros con espirometría que no cumple criterios de calidad y registros con información incompleta sobre exposición al tabaco o a nivel de contaminación atmosférica.

## 4.4 Variables

### 4.4.1 Variable dependiente

Como variable dependiente, se consideró el porcentaje del VEF<sub>1</sub>/CVF. A la luz de lo encontrado en la literatura se considera un valor alterado de VEF<sub>1</sub>/CVF cuando el porcentaje de éste es menor al 80% del valor de referencia. Según la literatura, la relación VEF<sub>1</sub>/CVF es útil en las fases iniciales de la enfermedad cuando esta aún conserva el VEF<sub>1</sub> dentro de los valores de referencia.<sup>(32)</sup> Tabla 3

### 4.4.2 Variables independientes

La exposición al tabaquismo y al material particulado, se consideraron como variables independientes. Con relación al tabaquismo se pretende tener en cuenta la magnitud (número de cigarrillos fumados por día de manera regular), y la duración del consumo de tabaco (número de años de tabaquismo). Para evaluar exposición a la contaminación se tienen registros del promedio de exposición a PM<sub>10</sub> según área de residencia permanente de los sujetos registrados en el estudio.

### 4.4.3 Covariables

Sexo, edad, otras características personales, estrato socioeconómico y nivel educativo, fueron tenidas en cuenta con el fin de ampliar la descripción de la población y los análisis, así como la evaluación de posibles efectos de confusión o interacción. Ver encuesta para recolección de los datos en anexo 5.

Tabla 3. Variables Tabaquismo y Función pulmonar

Variable dependiente	Variable independiente	Covariables
Indicador espirométrico (VEF <sub>1</sub> /CVF <80%)	Tabaquismo Nivel de PM <sub>10</sub>	Edad Sexo Nivel educativo Características sociodemográficas

## 4.5 Evaluación de la función pulmonar

Se realizó evaluaciones de la función pulmonar por personal calificado y entrenado, mediante un espirómetro portable marca Discovery-2, de acuerdo con las especificaciones de la ATS (Sociedad Torácica Americana) y la ERS (Sociedad Europea Respiratoria).

Dentro de las especificaciones técnicas de este instrumento se encuentran que cuenta con un flujómetro tipo turbina digital bidireccional (estándar), neumotacógrafo disponible, con límite de flujo: 0,03-20 l/s, límite de volumen: 12 l, precisión calculada de:  $\pm 3\%$  o 50 ml, resistencia @12l/s: <0,7 cm H<sub>2</sub>O//sec y sensor de temperatura: 0-50 °C (32-122°F).

Todas las espirometrías fueron tomadas por profesionales con experiencia en este procedimiento, teniendo en cuenta los criterios de confiabilidad y reproducibilidad. La calibración del equipo se realizó al terminar cada jornada usando una jeringa de 3000 ml y siguiendo las instrucciones de los fabricantes. <sup>(39)</sup>

Las variables espirométricas reportadas por el instrumento incluyen: capacidad vital, volumen espiratorio forzado en el primer segundo, proporción de volumen espiratorio forzado (Tiffeneau), flujo espiratorio pico e indicadores de flujo medio.<sup>(37)</sup>

#### **4.6 Evaluación del nivel de material particulado**

El comportamiento del material particulado en el Valle de Aburrá, se determinó con base en datos primarios recolectados por la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá, los resultados fueron analizados por el equipo de investigación, adicionalmente se realizó la medición directa de PM<sub>10</sub> en diversos puntos del área metropolitana y municipios del oriente mediante la técnica de alto volumen para medición de PM<sub>10</sub>. <sup>(6)</sup>

#### **4.7 Logística en la recopilación del dato**

Los registros fueron digitalizados por personal entrenado. Se hizo chequeos de consistencia para detectar errores de digitación, se detectó un registro que correspondía a una CVF de 9,94 se realizó la verificación del registro físico correspondiente donde la CVF era de 4,94 se procedió a corregir dicho dato antes del análisis de los registros. Se encontró dos valores atípicos: PEF 0,67 y 13,98. Estos valores se verificaron y no se encontró inconsistencias ni a errores de digitación, el primero pertenece a un hombre de 72 años, fumador, residente en Medellín con un peso de 41 kg, talla 166 cm, CVF 1,79 y VEF<sub>1</sub> 1,25, el segundo valor es un hombre de 37 años, fumador, residente en Itagüí, con peso de 86,6 Kg, talla 171 cm, con CVF de 5,04 y VEF<sub>1</sub> 4,45. La información recolectada se enumeró y se almacenó de manera ordenada y reposa en los archivos de la Línea de prevención y promoción de la salud de la Facultad Nacional de Salud Pública de la Universidad de Antioquia.

## 4.8 Procesamiento de los datos

Los datos fueron digitados a una base de datos realizada en el programa Epi 6,0 y analizados en los programas Epi 6,0, Epidat 3,1 y SPSS V. 17. Para la escritura del informe se usó el software Wordmac v 8.0 y para la elaboración de tablas y gráficos los software SPSS v 17.0 y PowerPoint y Excel.

## 4.9 Plan de análisis

### 4.9.1 Hipótesis de trabajo

Existe asociación entre la alteración de la función pulmonar medida por indicadores espirométricos y la exposición al tabaco y los altos niveles de material particulado  $<10 \mu\text{m}$ .

### 4.9.2 Análisis estadístico descriptivo

Se realizó la distribución univariada de la variable desenlace porcentaje de  $\text{VEF}_1/\text{CVF}$  y la variable exposición (tabaquismo y altos nivel de exposición a  $\text{PM}_{10}$ ) y para otras variables cuantitativas como edad, peso, talla, entre otros. Se realizó el análisis de las medidas de tendencia central como: media, mediana, valores mínimos y máximos. Y la medición de la dispersión: calculando percentiles, desviación estándar y la diferencia de medias de los principales indicadores espirométricos. Se verificó la normalidad de las variables cuantitativas usando la prueba de Smirnov-Kolmogorov y de manera gráfica mediante histogramas con curva normal. Para las variables que presentan una distribución normal se analizó los respectivos intervalos de confianza a nivel del 95% y la media y para aquellas variables con distribución no paramétrica se calculó la mediana y el rango intercuartil. Para las variables cualitativas estudiadas se realizó distribuciones de frecuencias para conocer las proporciones.

### 4.9.3 Análisis estadístico bi-variado

Se realizó tablas de 2x2 en la relación alteración de la función pulmonar y tabaquismo, así como función pulmonar y exposición  $\text{PM}_{10}$ , y función pulmonar y edad, con el fin de hacer estimaciones puntuales con los respectivos intervalos de confianza, pruebas de significancia y medidas de la asociación como razones de prevalencia. Se establecieron pruebas de significancia para rechazar o aceptar la hipótesis nula con una confianza del 95%. Se realizó a los datos cualitativos la Prueba chi-cuadrado para hacer comparaciones de las proporciones y a los datos cuantitativos la Prueba-t student para la comparación de los promedios. Adicionalmente se realizó un análisis estratificado de Mantel y Haenzel para estudiar confusiones e interacciones.

#### **4.10 Consideraciones éticas**

El presente estudio se llevó a cabo teniendo en cuenta los principios contemplados en la declaración de Helsinki durante la 18ª Asamblea Médica Mundial celebrada en Helsinki, Finlandia en 1964 y de acuerdo a la reciente enmienda de 2003 de la misma declaración, además se tiene en cuenta lo considerado en la resolución de la República de Colombia 8430 de 1993 para trabajos de investigación. Se respetaron en todo momento los principios éticos considerados en estos documentos, además de mantener la confidencialidad de los datos conocidos.

El presente estudio se considera sin riesgo dado que se basó en registros de personas y no con estas. Los datos han sido cuidadosamente recolectados y almacenados por la Línea de promoción de la salud y prevención del grupo de Epidemiología. Hace parte de los mencionados registros datos de varios proyectos debidamente concluidos realizados en diversos municipios del área metropolitana del Valle de Aburrá, al igual que ampliaciones de otras espirometrías y mediciones de PM<sub>10</sub> realizadas en algunos municipios del oriente antioqueño. Adicionalmente el presente estudio cuenta con el aval del comité de bioética del Centro de Investigaciones de la Facultad Nacional de Salud Pública de la Universidad de Antioquia.

Se aclara que las espirometrías son pruebas inocuas que evalúan la función pulmonar sobre la base de un registro de movilizaciones de volúmenes aéreos en condiciones normales del organismo, no se utilizan sustancias nocivas ni representan ningún riesgo para las personas. Los resultados fueron comunicados directamente a los participantes en el momento de su ejecución la prueba.

#### **4.11 Plan de divulgación de resultados**

Se ha propuesto realizar la divulgación de los resultados de este estudio a la comunidad científica y académica por medio de un artículo para publicación en revista nacional, conferencias a los grupos académicos interesados y divulgación pública mediante la presentación oral de los resultados en un congreso nacional o internacional.

## 5. Resultados

### 5.1 Estadísticos descriptivos

La tabla 4 presenta un resumen de las variables sociodemográficas consideradas en este estudio, entre las que se encuentran sexo, estrato socioeconómico, nivel educativo, lugar de procedencia de los sujetos a los que se les realizó la espirometría, condición de tabaquismo y personas con VEF<sub>1</sub>/CVF menor y mayor de 80%.

La variable lugar fue recategorizada según el nivel de PM<sub>10</sub> promedio encontrado a partir de los estudios ambientales ya mencionados, es así como; Medellín, Girardota, Itagüí y Bello corresponden a un nivel promedio de PM<sub>10</sub> de 60 µg/m<sup>3</sup>, lugares considerados con altos índices de contaminación atmosférica y Rionegro, El Retiro, La Ceja y Santa Elena a un nivel promedio de PM<sub>10</sub> de 30 µg/m<sup>3</sup>, considerado como poco contaminados. De las personas evaluadas 260 residían en el área Metropolitana del Valle de Aburrá y 230 en municipios del Corregimiento de Santa Elena y del oriente antioqueño.<sup>(6, 40)</sup>

De igual manera, la variable tabaquismo fue recategorizada y dicotomizada en dos grupos, fumadores y no fumadores. Los exfumadores fueron incluidos en el grupo de fumadores debido a que el comportamiento en general semejaba más el de éste grupo. De las 490 personas evaluadas el 48% son no fumadores, mientras que el 52% de ellos son fumadores actuales o exfumadores.

Las mayoría de las variables sociodemográficas fueron similares en la población de fumadores y no fumadores en relación a su lugar de residencia, con dos excepciones: en el grupo de no fumadores, el estrato socioeconómico nivel 2 fue significativamente mayor en oriente comparado con el encontrado en el Área Metropolitana. La segunda excepción es que en el grupo de fumadores la proporción de personas que pertenecen al estrato socioeconómico nivel 1 es menor en el Oriente antioqueño, que en el Área metropolitana. Tabla 5.

**Tabla 4. Variables sociodemográficas**

	<b>Variables</b>	<b>n (%)</b>
<b>Sexo</b>	Masculino	298 (60,8)
	Femenino	192 (39,2)
<b>ESE*</b>	Nivel 1	72 (14,9)
	Nivel 2	190 (39,3)
	Nivel 3	213 (44,1)
	Nivel 4	8 (1,7)
<b>NE**</b>	Primaria	205 (44,4)
	Secundaria	180 (39,0)
	Universitario	77 (16,7)
<b>Lugar</b>	Medellín	114 (23,3)
	Itagüí	112 (22,9)
	Girardota	12 (2,4)
	Bello	22 (4,5)
	Guarne	15 (3,1)
	Rionegro	6 (1,2)
	La Ceja	16 (3,3)
	El Retiro	23 (4,7)
	Santa Elena	170 (34,7)
<b>Tabaquismo</b>	No fumador	233 (47,6)
	Exfumador	101 (20,6)
	Fumador actual leve	61 (12,4)
	Fumador actual moderado	53 (10,8)
	Fumador actual severo	42 (8,6)
<b>Nivel de PM<sub>10</sub></b>	<30 µg/m <sup>3</sup>	230 (46,9)
	>60 µg/m <sup>3</sup>	260 (53,1)
<b>VEF1/CVF</b>	≥80%	365 (74,5)
	≤80%	125 (25,5)

**Tabla 5. Características sociodemográficas de fumar según lugar de residencia, variables categóricas**

		No fuma				Fuma			
		Oriente		Á. Metropolitana		Oriente		Á. Metropolitana	
		<i>n</i> (%)	<i>N</i> (%)	$X_2$	<i>P</i>	<i>N</i> (%)	<i>N</i> (%)	$X_2$	<i>p</i>
<b>Sexo</b>	<b>Hombre</b>	60 (46,5)	47 (45,2)	0,07	0,95	74 (73,3)	117 (75,0)	0,16	0,87
	<b>Mujer</b>	69 (53,5)	57 (54,8)	0,07	0,95	27 (26,7)	39 (25,0)	0,16	0,87
<b>ESE*</b>	<b>Nivel 1</b>	11 (8,5)	15 (14,4)	1,21	0,23	6 (5,9)	40 (25,6)	3,86	0,00
	<b>Nivel 2</b>	65 (50,4)	20 (19,2)	4,77	0,00	56 (55,4)	49 (31,4)	3,7	0,00
	<b>Nivel 3</b>	50 (38,8)	65 (62,5)	3,47	0,00	35 (34,7)	63 (40,4)	0,79	0,43
	<b>Nivel 4</b>	1 (0,8)	3 (2,9)	0,73	0,47	3 (3,0)	1 (0,6)	0,96	0,34
<b>NE**</b>	<b>Primaria</b>	44 (34,1)	26 (35,0)	1,36	0,17	47 (46,5)	88 (56,4)	1,42	0,15
	<b>Secundaria</b>	51 (39,5)	49 (47,1)	1,03	0,30	32 (31,7)	48 (30,8)	0,02	0,99
	<b>Universitario</b>	29 (22,5)	23 (22,1)	-0,09	0,93	18 (17,8)	7 (4,5)	3,31	0,00

\* ESE, estrato socioeconómico; \*\* NE, nivel educativo

La tabla 6 presenta el resumen de las medidas de tendencia central media, desviación estándar, mínimo y máximo de las características antropométricas edad, talla, peso, índice de masa corporal, perímetro abdominal y perímetro del carpo. En la tabla 7 se presentan las diferencias de las medias de las variables antropométricas de la población estudiada según nivel de exposición a PM<sub>10</sub> y condición de tabaquismo, no se encontró diferencias con significancia estadística entre estos grupos de comparación. Al realizar este mismo análisis estratificando por sexo, persiste la similitud de la mayoría de las variables en ambos grupos, con excepción de la edad que en los hombres fumadores expuestos a un nivel de PM<sub>10</sub> de 30 µg/m<sup>3</sup> es un poco mayor que la de los no fumadores y el peso que es un poco mayor en los hombres fumadores expuestos a PM<sub>10</sub> de 60 µg/m<sup>3</sup> en comparación con los hombres no fumadores de este grupo. Tabla 8. En el grupo de mujeres después de este análisis estratificado también se evidenció que existen diferencias estadísticamente significativas en el grupo de las mujeres expuestas a PM<sub>10</sub> de 60 µg/m<sup>3</sup> en las variables edad, el peso y el perímetro del carpo, siendo mayor en el grupo de fumadoras. Tabla 9.

**Tabla 6. Medidas de tendencia central características antropométricas**

	<b>n</b>	<b>Media (DE)</b>	<b>Mín-Max</b>	
<b>Edad</b>	490	43,02 (13,51)	15,00	86,00
<b>Peso</b>	490	67,75 (11,92)	41,00	100,00
<b>Talla</b>	488	163,18 (8,34)	144,00	186,00
<b>IMC</b>	488	25,42 (4,04)	14,90	38,20
<b>Per. del carpo</b>	486	16,53 (1,27)	13,00	20,00
<b>Per. del abdomen</b>	482	90,01 (1,15)	62,00	150,00

**Tabla 7. Características antropométricas de toda la población, según lugar de residencia y hábito de fumar**

	No fuma				Fuma			
	PM <sub>10</sub> 30 µg/m <sup>3</sup> n=129	PM <sub>10</sub> 60 µg/m <sup>3</sup> n=104	t	P	PM <sub>10</sub> 30 µg/m <sup>3</sup> n=101	PM <sub>10</sub> 60 µg/m <sup>3</sup> n=156	T	p
Media (DS)	Media (DS)	Media (DS)			Media (DS)			
<b>Edad</b>	37,99 (12,1)	39,62 (11,9)	1,03	0,31	44,86 (13,9)	48,25 (13,3)	1,93	0,05
<b>Peso</b>	65,90 (10,9)	68,27 (12,8)	1,52	0,13	68,83 (12,3)	68,22 (11,7)	0,38	0,70
<b>Talla</b>	161,20 (8,6)	161,8 (8,3)	0,58	0,56	165,65 (8,0)	164,13 (7,8)	1,46	0,15
<b>IMC</b>	25,40 (4,1)	25,99 (4,1)	1,09	0,28	25,04 (4,0)	25,28 (4,01)	0,45	0,65
<b>P. carpo</b>	16,29 (1,15)	16,15 (1,4)	0,77	0,44	16,80 (1,3)	16,80 (1,1)	0,00	1,00

**Tabla 8. Características antropométricas de los hombres, según lugar de residencia y hábito de fumar**

Variable	Hombres							
	PM <sub>10</sub> 30 µg/m <sup>3</sup>				PM <sub>10</sub> 60 µg/m <sup>3</sup>			
	No fumadores n = 60	fumadores n = 74	T	p	No fumadores n = 47	fumadores n = 117	T	P
Media	Media	Media			Media			
<b>Edad</b>	38,47	46,24	-3,32	0,00	42,53	48,50	-2,71	0,01
<b>Peso</b>	69,53	71,49	-1,04	0,30	75,5	69,21	3,06	0,00
<b>Talla</b>	167,90	168,41	-0,44	0,66	168,08	166,16	1,58	0,12
<b>IMC</b>	24,72	25,20	-0,74	0,46	26,70	25,01	2,45	0,02
<b>Per. del carpo</b>	16,99	17,25	-1,54	0,13	17,20	17,06	0,96	0,34
<b>Per. del abdomen</b>	88,38	93,40	-2,44	0,02	95,20	92,06	1,60	0,11

Se han asumido varianzas iguales

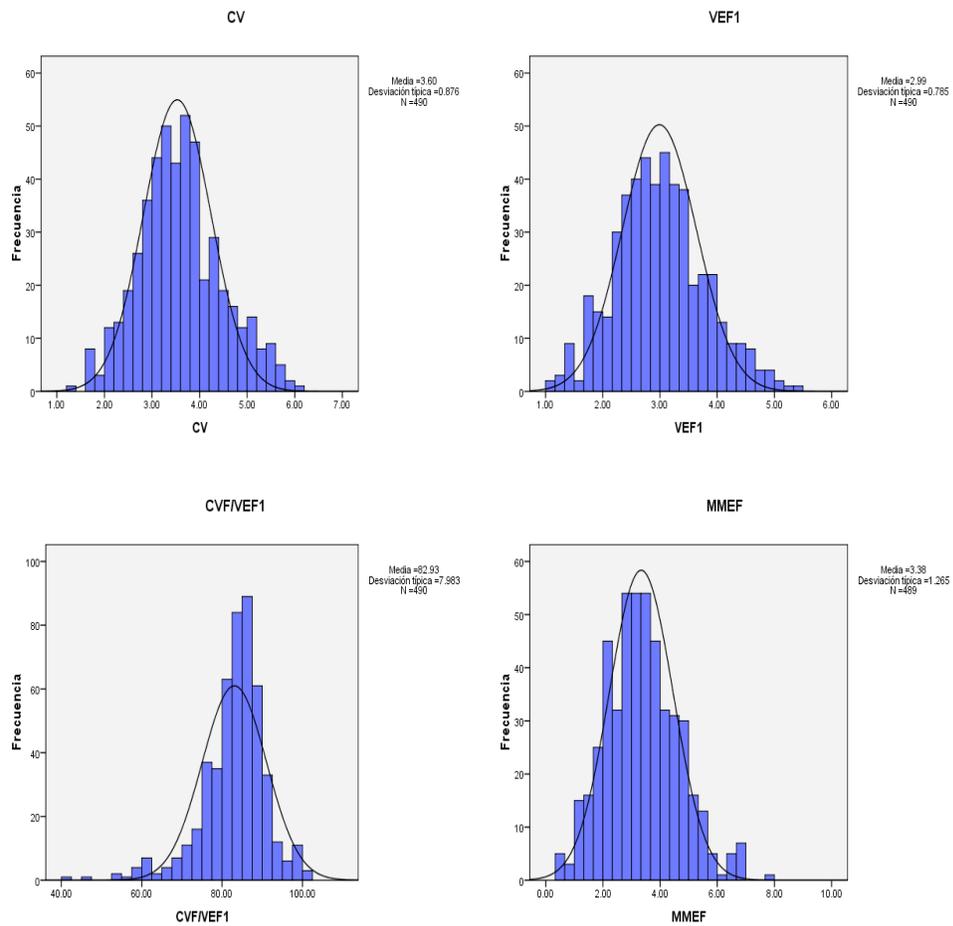
**Tabla 9. Características antropométricas de las mujeres, según lugar de residencia y hábito de fumar**

Variable	Mujeres							
	PM <sub>10</sub> 30 µg/m <sup>3</sup>				PM <sub>10</sub> 60 µg/m <sup>3</sup>			
	no fumadoras N = 69	fumadoras n = 27	T	p	no fumadoras n = 57	fumadoras n = 39	t	p
Media	Media	Media			Media			
<b>Edad</b>	37,58	41,07	-1,28	0,20	37,21	47,49	-3,94	0,00
<b>Peso</b>	62,75	61,54	0,48	0,51	62,31	65,24	-1,34	0,18
<b>Talla</b>	155,34	158,19	-2,27	0,03	156,70	158,80	-1,09	0,28
<b>IMC</b>	26,00	24,62	1,37	0,18	25,39	26,06	-0,83	0,41
<b>Per. del carpo</b>	15,69	15,67	0,07	0,94	15,27	16,06	-3,45	0,00
<b>Per. del abdomen</b>	86,21	84,78	0,59	0,56	85,41	90,90	-2,74	0,01

Se han asumido varianzas iguales

## 5.2 Prueba de normalidad

La mayoría de las variables de naturaleza continua se distribuyeron de manera normal según la prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra, con excepción de las variables %VEF<sub>1</sub>/CVF (Z de K-S 2,24 p. 0,000) y MEF<sub>25</sub> (Z de K-S 1,81 p. 0,003), la presentación gráfica de las variables se presenta a continuación. Figura 11



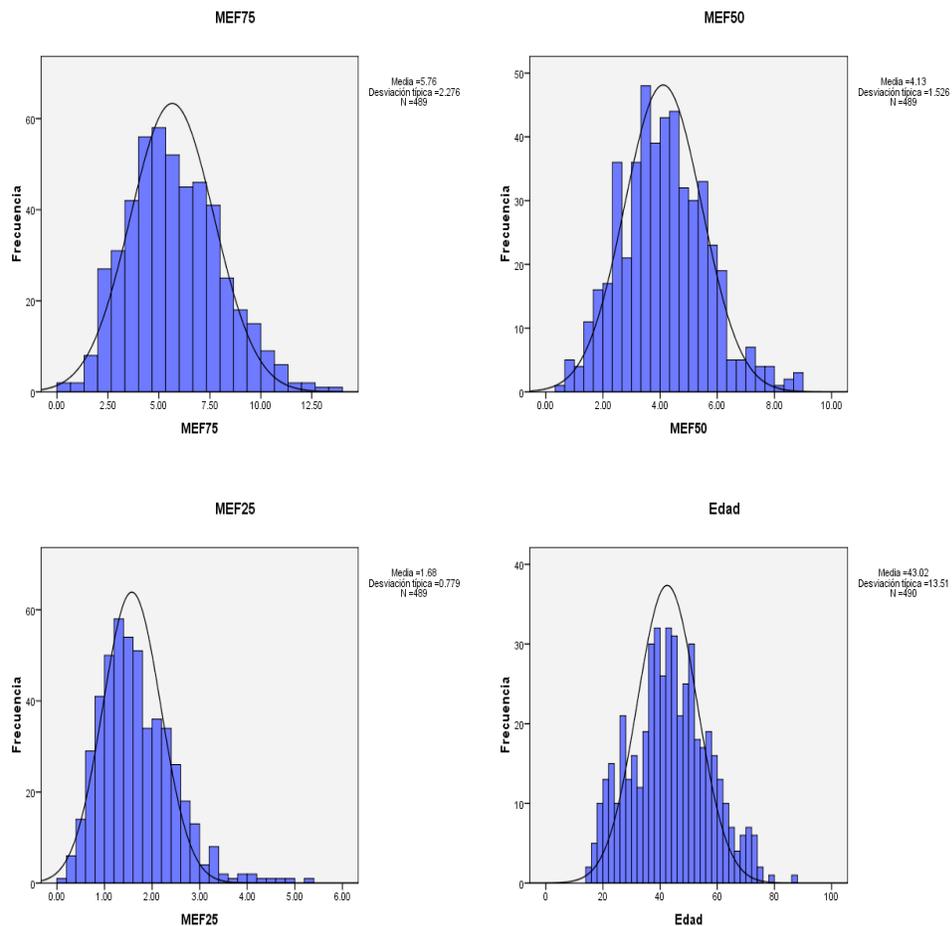


Figura 11. Histogramas con curva normal, variables continuas: CV, VEF<sub>1</sub>, VEF<sub>1</sub>/CVF, MMEF, MEF<sub>75</sub>, MEF<sub>50</sub>, MEF<sub>25</sub>, edad.

### 5.3 Comparación de los indicadores espirométricos con otros estudios

La evaluación de la función respiratoria se puede realizar mediante una espirometría y una curva flujo volumen de manera sencilla. En Colombia se cuenta con pocos estudios sobre la función respiratoria evaluada con espirometría en población sana y tradicionalmente usamos diversos indicadores de normalidad extrapolados de mediciones y ecuaciones construidas en población de personas blancas de origen europeo o norteamericano, es el caso de las ecuaciones propuestas por Knudson, Hankinson y otros<sup>(41)</sup> en su mayoría sobrestiman los valores normales de poblaciones con alto mestizaje como la nuestra.

En la literatura científica Colombiana, se encontró solo una publicación realizada por Rodríguez MN y colegas, donde se propone la generación de valores de referencia para la población colombiana

en este estudio se propuesto comparar los valores de las principales variables espirométricas encontradas, con las reportadas en el estudio colombiano<sup>(41)</sup> y adicionalmente con un estudio realizado en América Latina de una población brasilera.<sup>(42)</sup> En los metabuscadores consultados no se encontró otros estudios poblacionales realizados en población adulta sana en América Latina, que tuvieran como objetivo generar patrones de referencia.

La comparación de los valores promedios de los principales indicadores espirométricos obtenidos de este estudio se compararon con los de los estudios mencionados realizados en una población brasilera y colombiana. En la tabla 10 y 11 se presenta el estadístico *t*, con su respectiva prueba de significancia estadística *p*, para la comparación de medias en muestras independientes, según sexo. En el grupo de los hombres, se encontró similitud entre las variables MMEF y MEF<sub>50</sub> entre el estudio actual y el brasilero, y en el MMEF con el colombiano realizado en 2002. Tabla 10. El grupo de mujeres mostró un comportamiento parecido al anterior, fueron similares el VEF<sub>1</sub> y la CVF de las mujeres brasileras y las colombianas del estudio actual, así mismo el MMEF fue similar en ambos estudios colombianos para la población femenina. Tabla 11. Las demás variables presentaron diferencias desde la mirada estadística, más la mayoría de ellas insignificante desde la visión clínica.

**Tabla 10. Comparación indicadores espirométricos con otros estudios población masculina**

Hombres							
	Estudio actual	Estudio Brasil			Estudio Colombia		
	17-64 años	26-86 años			19-65 años		
	n 107*	n 270			n 756		
	Media (DS)	Media (DS)	<i>T</i>	<i>p</i>	Media (DS)	<i>t</i>	<i>P</i>
<b>VEF<sub>1</sub></b>	3,46 (0,70)	3,77 (0,67)	3,99	0,00	3,26 (0,79)	2,48	0,01
<b>CVF</b>	4,15 (0,98)	4,64 (0,77)	4,64	0,00	3,75 (0,85)	4,01	0,00
<b>%VEF<sub>1</sub>/CVF</b>	84,18 (8,25)	82,00 (5,0)	2,55	0,01	86,60 (7,20)	3,19	0,00
<b>MMEF</b>	3,97 (1,20)	3,87 (1,20)	0,73	0,47	3,91 (1,48)*	0,47	0,64
<b>PEF</b>	7,67 (2,16)	11,1 (1,75)	14,63	0,00	-		
<b>MEF<sub>25</sub></b>	1,96 (0,77)	1,58 (0,64)	4,90	0,00	-		
<b>MEF<sub>50</sub></b>	4,84 (1,46)	4,82 (1,44)	0,12	0,90	-		

\*n 107, proviene de una submuestra del total de 490 registros, solo se incluyeron registros correspondientes a hombres residentes en oriente no fumadores. Estudio Brasil. (42). Estudio Colombia. (41)

DS: Desviación estándar; VEF1: Volumen espiratorio forzado 1 segundo; CVF: Capacidad vital forzada; MMEF: Flujo espiratorio medio; PEF: flujo espiratorio pico, MEF 25: flujo espiratorio forzado al 25% de la CV; MEF 50: flujo espiratorio forzado al 50% de la CV; MEF 75: flujo espiratorio forzado al 75% de la CV. \*n=740, \*\* n =783.

**Tabla 11. Comparación indicadores espirométricos con otros estudios población femenina**

Mujeres							
	Estudio Actual	Estudio Brasil			Estudio Colombia		
	15 - 68 años	20-85 años			19-65 años		
	n 126*	n 373			n 802		
	Media (DS)	Media (DS)	t	p	Media (DS)	t	P
<b>VEF<sub>1</sub></b>	2,59 (0,51)	2,56 (0,57)	0,52	0,60	2,35 (0,55)	4,60	0,00
<b>CVF</b>	3,09 (0,60)	3,14 (0,65)	0,76	0,45	2,70 (0,63)	6,50	0,00
<b>VEF<sub>1</sub>/CVF</b>	84,14 (6,92)	82,0 (5,0)	4,02	0,00	86,8 (6,9)	4,02	0,00
<b>MMEF</b>	3,03 (0,86)	2,70 (0,94)	4,56	0,00	2,93 (0,97)**	1,57	0,12
<b>PEF</b>	4,91 (1,57)	7,14 (1,28)	14,41	0,00	-		
<b>MEF<sub>25</sub></b>	1,58 (0,57)	1,07 (0,52)	9,28	0,00	-		
<b>MEF<sub>50</sub></b>	3,64 (1,06)	3,40 (1,14)	2,08	0,04	-		

\*n 126, proviene de una submuestra del total de 490 registros, solo se incluyeron registros correspondientes a hombres residentes en oriente no fumadores. Estudio Brasil. (42) Estudio Colombia. (41)

DS: Desviación estándar; VEF1: Volumen espiratorio forzado 1 segundo; CVF: Capacidad vital forzada; MMEF: Flujo espiratorio medio; PEF: flujo espiratorio pico, MEF 25: flujo espiratorio forzado al 25% de la CV; MEF 50: flujo espiratorio forzado al 50% de la CV; MEF 75: flujo espiratorio forzado al 75% de la CV. \*n=740, \*\* n =783.

## 5.4 Indicadores espirométricos

La tabla 12 presenta las medidas de tendencia central de las principales variables que representan la evaluación de la función pulmonar. Media, desviación estándar, mínimo y máximo se describen para todas las variables. Para las variables cuya distribución no fue normal se presenta de manera adicional la mediana y los principales percentiles.

**Tabla 12. Medidas de tendencia central de los indicadores espirométricos, población total**

	N	Media (DE)	Mín-Max	
<b>CV</b>	490	3,60 (0,88)	1,30	6,19
<b>VEF<sub>1</sub></b>	490	2,99 (0,79)	1,06	5,36
<b>%/VEF<sub>1</sub>/CVF*</b>	490	82,93 (7,98)	42,35	100,00
<b>VEF<sub>0,5</sub></b>	489	2,30 (0,66)	0,74	4,12
<b>MMEF</b>	489	3,38 (1,26)	0,39	7,74
<b>FEP</b>	489	6,31 (2,41)	0,67	13,98
<b>MEF<sub>75</sub></b>	489	5,76 (2,28)	0,58	13,69
<b>MEF<sub>50</sub></b>	489	4,13 (1,53)	0,43	8,97
<b>MEF<sub>25</sub>**</b>	489	1,68 (0,78)	0,18	5,25

\* Med 84,04; P<sub>25</sub> 79,67; P<sub>50</sub> 84,04; P<sub>75</sub> 87,69

\*\* Med 1,56; P<sub>25</sub> 1,13; P<sub>50</sub> 1,56; P<sub>75</sub> 2,16

La mayoría de los indicadores espirométricos de la población total fueron significativamente más bajos en las personas expuestas a altos niveles de PM<sub>10</sub>, es decir residentes en Medellín y demás municipios del Área Metropolitana, en comparación con los expuestos a menores niveles de contaminación de municipios localizados en el oriente antioqueño. Tabla 13

**Tabla 13. Diferencia de promedios de los indicadores espirométricos según nivel de exposición por contaminación**

	PM <sub>10</sub> 30	PM <sub>10</sub> 60	T	P
	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>		
	Media (DE) n 230	Media (DE) n 260		
VEF <sub>1</sub>	3,12 ( 0,77)	2,87 (0,80)	3,47	0,00
CVF	3,73 (0,97)	3,51 (0,86)	2,66	0,00
%VEF <sub>1</sub> /CVF	84,16 (7,76)	81,84 (8,03)	3,25	0,00
MMEF	3,60 (1,27)	3,18 (1,23)	3,68	0,00
PEF	6,55 (2,19)	6,10 (2,57)	2,07	0,41
MEF <sub>25</sub>	1,78 (0,81)	1,59 (0,74)	2,53	0,01
MEF <sub>50</sub>	4,41 (1,50)	3,788 (1,51)	3,86	0,00
MEF <sub>75</sub>	6,05 (2,11)	5,51 (2,39)	2,66	0,00

**Tabla 14. Diferencia de promedios de los indicadores espirométricos según nivel de exposición al tabaquismo**

	No fumador	Fumador	t	P
	Media (DS) N 233	Media (DS) n 257		
VEF <sub>1</sub>	2,99 (0,74)	2,99 (0,82)	-0,04	0,97
CVF	3,56 (0,96)	3,65 (0,88)	-0,85	0,39
%VEF <sub>1</sub> /CVF	84,16 (7,55)	81,82 (8,22)	3,27	0,00
MMEF	3,47 (1,13)	3,31 (1,37)	1,38	0,17
PEF	6,16 (2,31)	6,44 (2,50)	-1,21	0,23
MEF <sub>25</sub>	1,75 (0,69)	1,62 (0,84)	1,87	0,06
MEF <sub>50</sub>	4,19 (1,39)	4,07 (1,64)	0,85	0,40
MEF <sub>75</sub>	5,70 (2,17)	5,82 (2,37)	-0,60	0,55

La tabla 14 muestra las diferencias de los promedios de los indicadores espirométricos según el nivel de exposición al tabaquismo, se encontró diferencias con significancia desde el punto de vista estadístico entre las medias de la variable %VEF<sub>1</sub>/CVF.

Las diferencias de promedios de la variable %VEF<sub>1</sub>/CVF según la condición de tabaquismo y nivel de exposición a la contaminación atmosférica se puede observar gráficamente en la figura 12.

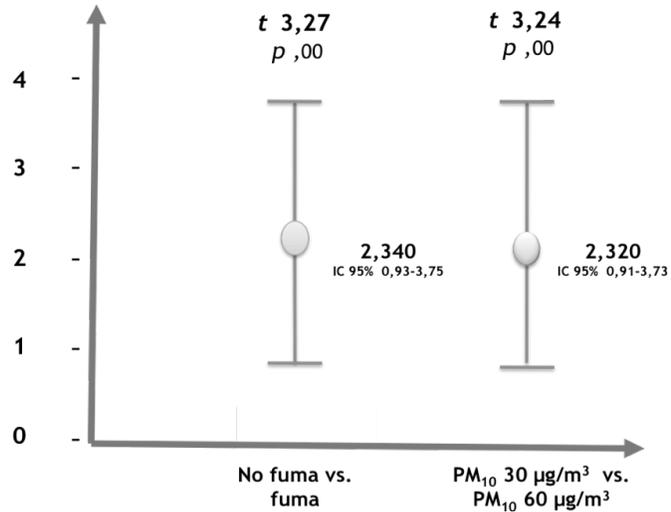


Figura.12 Diferencia de promedios del indicador espirométrico %VEF<sub>1</sub>/CVF según tabaco y nivel de exposición por contaminación

### 5.5 Análisis de riesgos

Se realizó un análisis de riesgo, con base en las razones de prevalencia aportadas por el estudio. Se consideró como variable desenlace la disminución del % de VEF<sub>1</sub>/CVF, según un punto de corte de 80. Es así como se consideró como alteración de la función cuando el % de VEF<sub>1</sub>/CVF era menor de 80% y no afectados cuando era mayor de este porcentaje. Para realizar este análisis fue necesario dicotomizar la variable continua % de VEF<sub>1</sub>/CVF, de igual manera se procedió con las variables lugar de exposición, condición de tabaquismo y edad. Tablas 15, 16 y 17.

Tabla 15. Tabla de contingencia de 2x2 % VEF<sub>1</sub>/CVF según condición de tabaquismo

	VEF <sub>1</sub> /CVF <80%	VEF <sub>1</sub> /CVF >80%					
<b>Fumador</b>	80 (64,0%)	177 (48,5%)	257	$X^2$	8,978	<b>OR</b>	1,88
<b>No fumador</b>	45 (36,0%)	188 (51,5%)	233	<i>p.</i>	0,003	(IC 95%)	(1,24-2,87)
	125	365	490				

Tabla 16. Tabla de contingencia de 2x2 % VEF<sub>1</sub>/CVF según exposición a PM<sub>10</sub>

	VEF <sub>1</sub> /CVF <80%	VEF <sub>1</sub> /CVF >80%					
<b>PM<sub>10</sub> 60 µg/m<sup>3</sup></b>	80 (64,0%)	180 (49,3%)	260	$X^2$	8,062	<b>OR</b>	1,83
<b>PM<sub>10</sub> 30 µg/m<sup>4</sup></b>	45 (36,0%)	185 (50,7%)	230	<i>p.</i>	0,005	(IC 95%)	(1,20 – 2,78)
	125	365	490				

Tabla 17. Tabla de contingencia de 2x2 % VEF<sub>1</sub>/CVF según edad

	VEF <sub>1</sub> /CVF <80%	VEF <sub>1</sub> /CVF >80%					
<b>Edad &gt; 40 años</b>	91 (72,8%)	188 (51,5%)	279	$X^2$	17,218	<b>OR</b>	2,52
<b>Edad &lt; 40 años</b>	34 (27,2%)	177 (48,5%)	211	<i>p.</i>	0,000	(IC 95%)	(1,62-3,93)
	125	365	490				

En las tablas antes presentadas se describen los números absolutos y porcentuales de las personas expuestas a las variables tabaquismo, nivel de PM<sub>10</sub> y edad, con el resultado VEF<sub>1</sub>/CVF <80% y >80%, de manera similar se presentan las frecuencias y porcentajes de las personas no expuestas a estos factores y los resultados esperados.

En este caso, como la prevalencia de tener alteraciones en el % VEF<sub>1</sub>/CVF es rara en la población general (afecta a menos del 10%, la prevalencia de EPOC en Colombia se ha estimado en 8,9% en población general<sup>(14)</sup> el Odds Ratio (*OR*) se puede aproximar al Riesgo Relativo (*RR*). Se puede observar que la oportunidad relativa o probabilística (*OR*) de tener el VEF<sub>1</sub>/CVF <80% en el grupo de fumadores es 1,88 veces la de los sujetos no fumadores, y la oportunidad relativa (*OR*) de tener alteración de esta misma variable es los sujetos expuestos a altos niveles de contaminación es de 1,83 veces la de los expuestos a bajos niveles, al realizar este mismo análisis con la variable edad dicotomizada en sujetos menores y mayores de 40 años, se observa que el grupo de personas

mayores tiene una ventaja de presentar alteraciones de la función pulmonar de 2,52 veces la de los sujetos menores de esta edad. Este último hallazgo contribuyó a replantear nuevas oportunidades de análisis e interpretación de los resultados a la luz de otras variables.

Adicionalmente, se decidió calcular una medida también cercana al *RR*, a partir de las Razones de Prevalencia, aportadas por este tipo de diseño. En los estudios de corte transversal desde las proporciones de prevalencia se puede llegar a esta medida, primero se obtiene el riesgo en expuestos ( $RP_1 = a/(a+b)$ ), segundo, el riesgo en no expuestos ( $RP_2 = c/(c+d)$ ), finalmente, se calcula la razón de prevalencias  $RP = RP_1/RP_2$ , desde este cálculo se obtiene una medida análoga al *RR*.<sup>(5)</sup>

Con base en lo anterior, se evidenció alteración de la función pulmonar en personas expuestas a la contaminación atmosférica, encontrándose la presencia de alteraciones de la función pulmonar definida como presentar un  $VEF_1/CVF < 80$ , con un exceso de riesgo 61% en las personas expuestas a altos niveles de contaminación ( $PM_{10} > 60 \mu g/m^3$ ) en relación a los que se exponen de manera regular a niveles más bajos ( $PM_{10} < 30 \mu g/m^3$ ) (*RR* 1,61 IC 95% 1,17-2,21). Esta relación permanece estable cuando se ajusta por el riesgo de fumar con el método de análisis estratificado de Mantel y Hanzel (*RR<sub>MH</sub>* 1,52 IC 95% 1,11-2,08). Figura 13 y tabla 17.

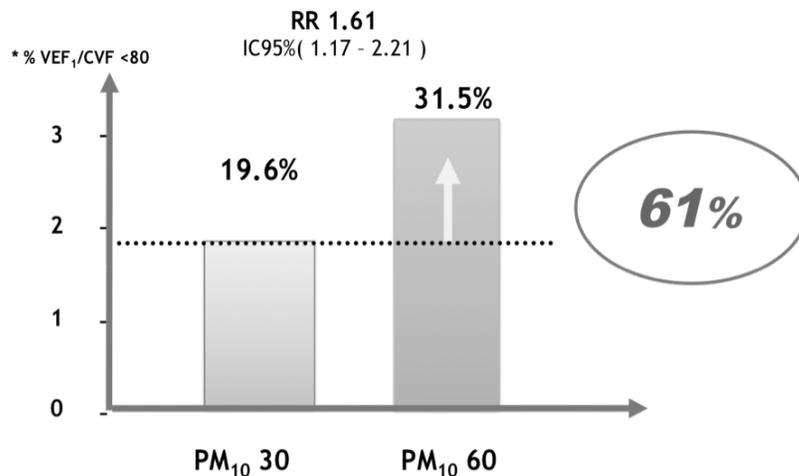


Figura 13. Exceso de riesgo para la alteración del %  $VEF_1/CVF$  según nivel de exposición a  $PM_{10}$

También se evidencia alteraciones de la función pulmonar con relación a la exposición al hábito de fumar, siguiendo el criterio antes expuesto, se observó un exceso de riesgo de 54% (*RR*. 1,54 IC 95% 1,13-2,11) en los sujetos fumadores comparado con el grupo de no fumadores, este riesgo permanece estable al ajustar por contaminación atmosférica (*RR<sub>MH</sub>* 1,44 IC 95% 1,05-1,97). Figura 14 y tabla 17.

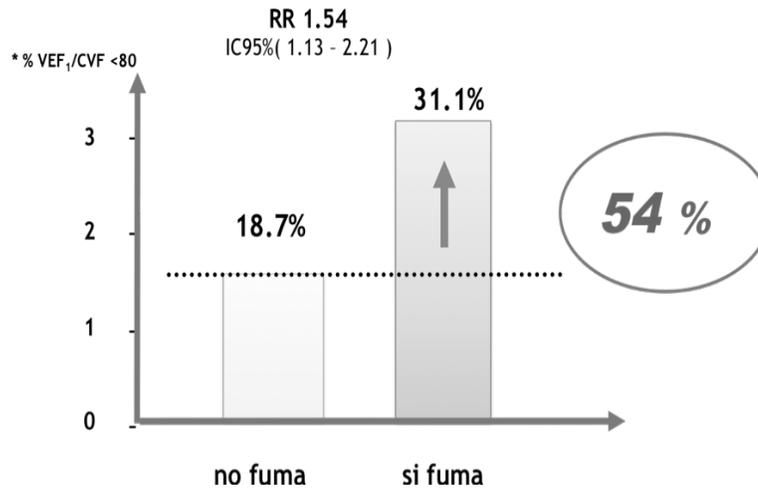


Figura 14. Exceso de riesgo para la alteración del % VEF<sub>1</sub>/CVF según nivel de exposición a tabaquismo

Cuando los sujetos se exponen a ambos riesgos, es decir fuman y además se encuentran en ambientes contaminados el exceso de riesgo es de 127% (RR 2,27 IC 95% 1,44-3,59.  $X_2$  14,2 p. 0,00), es decir, existe sumatoria de los efectos independientes. Con estos datos no se demostró la presencia de interacción significativa entre el hábito de fumar y la contaminación atmosférica.  $X^2$  0,23 p. 0,62), con estos análisis también se descartó la presencia de confusión entre el tabaquismo y la contaminación atmosférica. Figura 15 y tabla 17.

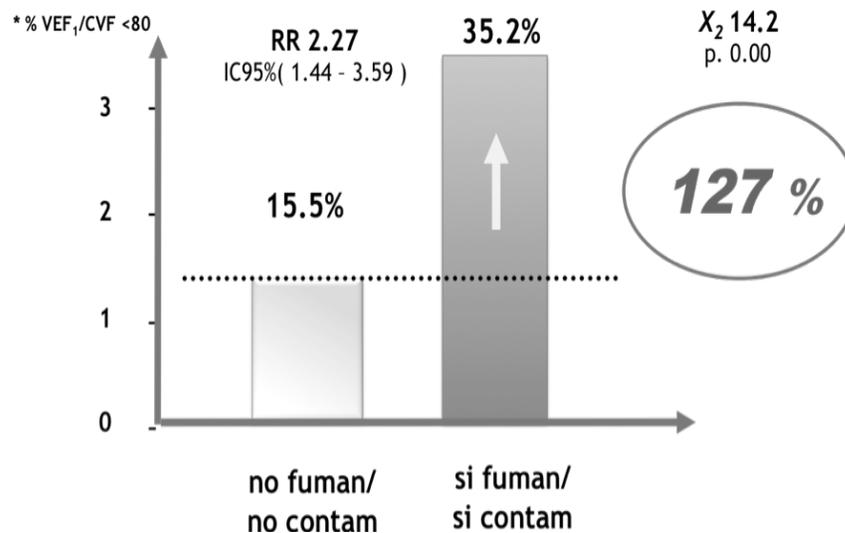


Figura 15. Exceso de riesgo para la alteración del % VEF<sub>1</sub>/CVF según nivel de exposición a PM<sub>10</sub> y tabaquismo

Al realizar el análisis de las prevalencias de alteraciones de la función pulmonar considerada como la presencia de  $VEF_1/CVF < 75\%$  en los expuestos a ambos factores: hábito de fumar y la contaminación atmosférica, en presencia de uno de los dos o de ninguno de ellos, se aprecia que existen diferencias que son estadísticamente significativas entre estas prevalencias.  $\chi^2 15,5$  p. 0,00). Figura 16.

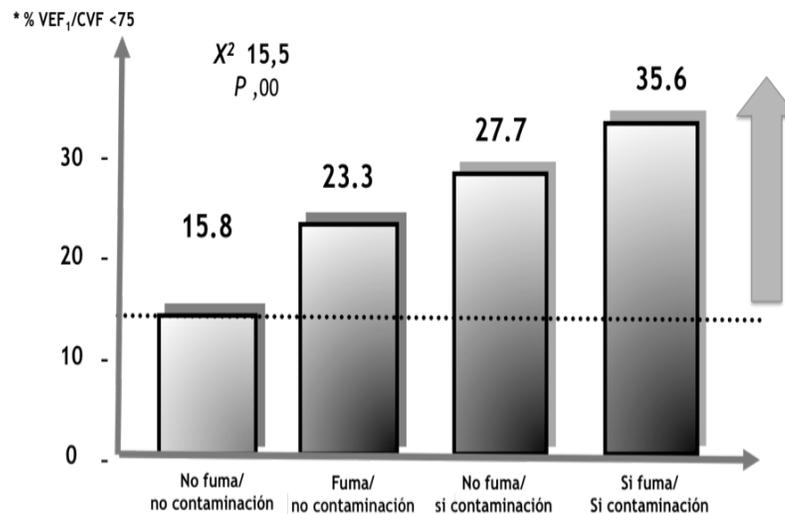


Figura 16. Prevalencias de la alteración del %  $VEF_1/CVF$  según nivel de exposición a  $PM_{10}$  y/o tabaquismo

En la figura 16, se observa que existe un gradiente ascendente entre las razones de prevalencias analizadas, en población no expuesta a contaminación ni a tabaco se observa que el 15,8% de las personas a las que se les realizó espirometría presentaron alteraciones en la función pulmonar asumiendo el criterio de  $VEF_1/CVF < 75\%$ , estaban afectadas el 23,3% las personas que se expusieron al tabaquismo, pero no a la contaminación, los que se expusieron a este último factor pero no al tabaquismo presentaron una prevalencia de 27,7% y finalmente los que se expusieron tanto a la contaminación como al tabaco lo estaban en un 35,6%.

La tabla 18 presenta un resumen de las razones de riesgos estimadas a partir de las razones de prevalencia calculadas para las variables tabaco y contaminación, se presenta la medida cruda y ajustada con sus respectivos intervalos de confianza y el estadístico que evalúa la interacción con su respectivo valor de significancia estadística. A partir de estos datos se presenta el análisis de confusión e interacción, de lo cual se puede decir que cuando se analiza la exposición a la contaminación atmosférica y al tabaquismo, no se está ante la presencia de variables confusoras, y que al evaluar la presencia de interacción entre los factores estudiados, no se encuentra la presencia de interacción, situación que nos indica que estamos ante la presencia de factores independientes.

**Tabla 18. Razones de riesgo de la variable VEF<sub>1</sub>/CVF<80% según el nivel de exposición por contaminación: análisis de confusión e interacción.**

	n	RR Crudo	IC 95%	X <sup>2</sup>	P	RR <sub>M-H</sub> Ajustada	IC 95%	X <sup>2</sup> Interacción	P Interacción
<b>VEF<sub>1</sub>/CVF&lt;80% según contaminación ajustada por consumo tabaco</b>									
		<b>1,61</b>	1,17-2,11	9,11	0,00	<b>1,52</b>	1,11-2,08	0,06	0,80
Fumadores (expuestos)	260	1,42	0,95-2,13	3,16	0,07				
No fumadores (no expuestos)	230	1,67	1,00-2,81	3,91	0,04				
<b>VEF<sub>1</sub>/CVF&lt;80% según fumar ajustada por Contaminación</b>									
		<b>1,54</b>	1,13-2,11	7,64	0,00	<b>1,44</b>	1,05-1,97	0,06	0,80
PM <sub>10</sub> ≈ 60 µg/m <sup>3</sup> (expuestos)	257	1,36	0,92-2,00	2,50	0,11				
PM <sub>10</sub> ≈ 30 µg/m <sup>3</sup> (no expuestos)	233	1,60	0,94-2,70	3,08	0,08				
<b>VEF<sub>1</sub>/CVF&lt;80% según condición de tabaquismo + exposición a contaminación atmosférica *</b>									
		<b>2,27</b>	1,44-3,59	14,20	0,00				

\*Fumadores + PM<sub>10</sub> ≈ 60 µg/m<sup>3</sup> n = 156, No fumadores + PM<sub>10</sub> ≈ 30 µg/m<sup>3</sup> n = 129.

En la tabla 19 se incluye un análisis multivariado, realizado de manera adicional al propuesto, presentado con el objetivo de explorar el potencial efecto que tienen otros factores sociodemográficos no considerados inicialmente en la interacción con la alteración de la función pulmonar considerada como VEF<sub>1</sub>/CVF<80%. Se presenta un análisis multivariado donde se incluyeron todas las variables sociodemográficas consideradas en este estudio, la interpretación de los OR definidos en la tabla como *Exponente beta* (Exp B) se presentan con su respectivo valor de significancia estadística definido con intervalo de confianza y valor de p. Llama la atención que además de las variables ya consideradas en este estudio como exposición a la contaminación atmosférica y tabaquismo, aparecen con mucha fuerza variables como la edad, el bajo nivel de educación. Después de ajustar por las variables incluidas en la tabla 19, las variables edad mayor de 40 años y alto nivel exposición a la contaminación atmosférica conservan su significancia estadística.

En la tabla 20 se presenta un modelo que explica la influencia de las variables edad, exposición a la contaminación atmosférica y tabaquismo sobre las alteraciones de la función pulmonar, a partir del cálculo de OR. Se observa que las tres variables incrementan la ventaja o el riesgo de padecer alteraciones de la función pulmonar en la población estudiada, siendo la edad y la presencia de contaminación atmosférica las más importantes.

Tabla 19. Análisis multivariado según variables sociodemográficas

Variable	$\beta$	Wald	Independientes		Ajustados		
			Exp( $\beta$ ) IC 95%	p	Exp( $\beta$ ) IC 95%	p	
Edad	< 40 años						
	>40 años	0,924	16,63	<b>2,52</b> (1,62- 3,93)	0,00	<b>1,78</b> (1,10 - 2,91)	0,02
Sexo	Femenino						
	Masculino	0,37	2,85	<b>1,45</b> (0,94 - 2,22)	0,09	<b>1,07</b> (0,66 - 1,73)	0,79
NE	Universitario						
	Secundaria	0,44	1,38	<b>1,55</b> (0,75 - 3,23)	0,24	<b>1,42</b> (0,66 - 3,07)	0,37
	Primaria	1,03	1,38	<b>2,79</b> (1,38 - 5,63)	0,00	<b>2,21</b> (0,99 - 4,90)	0,05
ESE	Nivel 3 - 4						
	Nivel 1 - 2	0,1	0,23	<b>1,11</b> (0,73 - 1,67)	0,63	<b>0,87</b> (0,53 - 1,42)	0,57
Fumar	No fuma						
	Fuma	0,64	8,84	<b>1,89</b> (1,24 - 2,87)	0,00	<b>1,18</b> (0,72 - 1,93)	0,52
Contaminación	PM <sub>10</sub> 30**						
	PM <sub>10</sub> 60**	0,6	7,95	<b>1,83</b> (1,20 - 2,78)	0,01	<b>1,63</b> (1,02 - 2,59)	0,04

Tabla 20. Análisis multivariado variables edad, contaminación y tabaco

Variable	$\beta$	Wald	p	Exp( $\beta$ )	IC 95%
Edad	0,76	10,26	0,00	<b>2,14</b>	1,34 - 3,40
Contaminación	0,46	4,3	0,04	<b>1,58</b>	1,03 - 2,43
Fumar	0,36	2,52	0,11	<b>1,43</b>	0,92 - 2,24
Constante	-2,01	72,92	0,00	0,13	

## 6. Discusión

### 6.1 Resumen de los principales hallazgos

De las 490 personas evaluadas, 260 residen en el área Metropolitana del Valle de Aburrá expuestos a un promedio de  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{10}$  y 230 en municipios del oriente antioqueño expuestos a  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{10}$  en promedio. El 52% de ellos son fumadores actuales o exfumadores. La mayoría de los indicadores espirométricos fueron significativamente más bajos en las personas expuestas altos niveles de  $\text{PM}_{10}$  en comparación con los expuestos a niveles más bajos, con relación a los fumadores solo se encontró diferencia en el Índice de Tiffeneau ( $\text{VEF}_1/\text{CVF} < 80\%$ ), sin embargo se evidencia alteración de la función pulmonar en personas expuestas a la contaminación atmosférica como al tabaquismo. Se encontró que la contaminación confiere un exceso de riesgo de para presentar alteraciones pulmonares del 61%, relación que permanece estable cuando se ajusta por el riesgo que representa fumar. Con relación a la exposición al hábito de fumar, se observó un exceso de riesgo de 54% relación que permanece significativa al ajustar por contaminación. Cuando los sujetos están expuestos a ambos factores contaminación y tabaco, el exceso de riesgo es de 127%, es cuando se combinan los riesgos: hábito de fumar y contaminación atmosférica existe un efecto sumativo de los riesgos individuales. Existen diferencias significativas entre las prevalencias de alteraciones de la función pulmonar cuando se exponen a diversas exposiciones tabaco y contaminación atmosférica, solo tabaco, solo contaminación o ninguno de estos. Surgen del análisis de los datos realizado nuevas variables como la edad y el nivel de escolaridad que también pueden explicar la presencia de alteraciones de la función pulmonar y que amerita nuevos análisis.

### 6.2 Comparación con estudios previos

#### 6.2.1 Evaluación de la función pulmonar

Los estudios de evaluación de la función respiratoria mediante espirometría, destacan la utilidad de esta y de la curva de flujo volumen para evaluar la función pulmonar, así como su utilidad para detectar las alteraciones del funcionamiento respiratorio. Es de anotar que de acuerdo a lo observado en la comparación de los datos obtenidos de los estudios realizados en población sana de Brasil<sup>(42)</sup> y de Colombia<sup>(41)</sup> si bien algunas de las variables son estadísticamente similares entre los estudios, la mayoría de ellas no lo son, situación que da cuenta de la gran variabilidad entre las poblaciones, dada su diversidad en la distribución de grupos étnicos, sexo, estatura, peso corporal, edad, costumbres y demás comportamientos sociales, hecho que confirma una vez más la importancia de determinar los indicadores propios para cada población, para de esta manera identificar con adecuada confiabilidad individuos con parámetros de función respiratorio anormal dentro de estos grupos. Así como cuestionar la situación actual donde los clásicos parámetros de normalidad de los indicadores espirométricos y de la curva de flujo volumen usados para realizar diagnósticos de la función pulmonar son extrapolados de las poblaciones de América del norte y de Europa, parámetros que podrían ser inválidos en poblaciones de alto mestizaje como la colombiana.

## 6.2.2 Función pulmonar y tabaquismo

Es bien conocido que de las diversas patologías ocasionadas por el tabaco, la EPOC es una de las que podría ser detectada oportunamente en las etapas iniciales de la enfermedad antes de que aparezcan los síntomas, con la ayuda de una espirometría. Desde 1977 Peto y Fletcher informaron que el  $VEF_1$  disminuía a lo largo de la vida, pero llamaron la atención sobre el hecho que era significativamente menor en personas fumadoras con manifestaciones clínicas de obstrucción del flujo aéreo. <sup>(43)</sup>

Después de muchos años de investigación, se ha propuesto el mecanismo inmunológico que desencadena el EPOC, en este estudio se afirma que fumar es el principal factor de riesgo para desarrollar esta enfermedad, el tabaco al parecer influencia factores epigenéticos como la acetilación de la cromatina, reduce la actividad de histonas en el parénquima pulmonar, disminuye la actividad de los macrófagos pulmonares y aumenta la respuesta inflamatoria y el estrés oxidativo y posiblemente activando algunos procesos de autoinmunidad.<sup>(44)</sup> Situación que apoya los hallazgos planteados en este estudio, sobre la reducción de la función pulmonar en sujetos fumadores, posiblemente atribuibles a estos factores y los cuales preceden el daño estructural de la anatomía bronquial.

Existe evidencia que la función respiratoria ( $VEF_1$ ) disminuye en las personas no fumadoras a partir de los 30 años a una velocidad de 25 a 30 ml/año. En los fumadores susceptibles la disminución del  $VEF_1$  puede alcanzar valores de 50 a 90 ml/año, situación que hace necesario evaluar la disminución de la función respiratoria en relación a un número mayor de factores que los aquí considerados.<sup>(17)</sup>

Once años después de un gran estudio: Lung Health Study (LHS), se realizaron espirometrías al 77,4% de los participantes sobrevivientes, similar a lo encontrado en esta investigación, los sujetos fumadores presentaron una disminución mayor de uno de sus indicadores espirométrico, específicamente el  $VEF_1$ , de esta investigación también evidenció que la disminución en el  $VEF_1$  fue menor en quienes dejaron de fumar que entre los que persistieron fumando.<sup>(45)</sup>

Congruente con esta investigación, los resultados obtenidos por Pope III y colegas, quienes evaluaron una serie de artículos donde se exploró la asociación entre las alteraciones de la CVF, el  $VEF_1$  y el FEP con el aumento en los niveles de material particulado, en la revisión que realizaron estos autores, el efecto sobre el sistema respiratorio fue fisiológicamente pequeño, pero estadísticamente significativo. Determinaron que incrementos de 10  $\mu\text{g}/\text{m}_3$  en el  $\text{PM}_{10}$ , resultó en disminuciones del 1% en la función pulmonar, pero exposiciones agudas de 150  $\mu\text{g}/\text{m}_3$  pueden llegar a disminuciones en la función respiratoria tan alta como del 7% . En este estudio se pudo observar que la variable  $\%VEF_1/CVF < 80$ , presentó diferencias cercanas al 3% entre los grupos expuestos y los no expuestos, para las variables tabaquismo y contaminación por  $\text{PM}_{10}$ .<sup>(46)</sup>

### 6.2.3 Función pulmonar y contaminación

Estudios sobre calidad de aire del Valle del Aburrá y el Área Metropolitana, indican que esta es una ciudad con altos niveles de contaminación atmosférica, en especial por material particulado.<sup>(29)</sup>

La situación es preocupante, dadas las implicaciones que la contaminación atmosférica tiene para la salud. En el mundo se han realizado estudios que han evaluado la morbilidad aguda y crónica de los efectos del material particulado asociado a las alteraciones de la función pulmonar o a síntomas respiratorios por contaminación. Se incluye medidas como la CVF, VEF<sub>1</sub> y el PEF. En diversos estudios se ha encontrado asociación entre la exposición a contaminación y la disminución de estas mediciones, según los investigadores el efecto sobre el cambio fisiológico ha sido pequeño, pero estadísticamente significativo.<sup>(25, 46)</sup> Algunos resultados refieren que un incremento de 10 µg/m<sup>3</sup> en el PM<sub>10</sub> resulta en una disminución de 1% en la función pulmonar. Otros estudios donde el material particulado excedía en el día los 150 µg/m<sup>3</sup> mostró disminuciones hasta del 7%. Así mismo incrementos del 10 µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>10</sub> se ha asociado a incrementos entre el 1 y 10% en síntomas y enfermedades respiratorias como tos, bronquitis y enfisema.<sup>(46)</sup>

Los hallazgos de esta investigación están en concordancia con los de un estudio transversal realizado en Londres, donde se evaluó la asociación entre el VEF<sub>1</sub> como porcentaje de la CVF y la exposición a PM < 10 µg de diámetro, dióxido de sulfuro y ozono, y se realizaron cortes en 1995, 1996, 1997 y 2001, encontrándose que la exposición a estos contaminantes si estaba asociada con la disminución del VEF<sub>1</sub>, el tamaño del efecto sobre la población fue de 3% para la exposición a PM <10 µg y 0,7% para la exposición a dióxido de sulfuro y dióxido de nitrógeno.<sup>(47)</sup>

Otros estudios proveen evidencia fuerte que a largo plazo la exposición a partículas finas suspendidas en el aire contaminado de las grandes ciudades es un importante factor de riesgo para la mortalidad de origen cardiopulmonar y cáncer de pulmón. Por cada aumento de 10 µg/m<sup>3</sup> de concentraciones ambientales de PM<sub>2.5</sub> se presenta un exceso de riesgo de mortalidad en 4%, 6% y 8% por todas las causas, por cardiopulmonares y por cáncer de pulmón respectivamente. En este estudio después de controlar por hábito de fumar y otras variables persistió la asociación entre la contaminación atmosférica y la mortalidad por cáncer de pulmón y las enfermedades cardiopulmonares.<sup>(25)</sup>

Otro estudio que presenta resultados consistentes con el anterior, reporta que la exposición a material particulado es un factor causal de mortalidad cardiovascular, a través de mecanismos que incluyen inflamación del sistema inmune pulmonar, aterosclerosis acelerada y alteración de la función autónoma del sistema cardiovascular. Más de la mitad de las muertes evaluadas en una serie de tiempo fueron atribuibles a mortalidad de origen cardiopulmonar (aproximadamente 45%) y a enfermedades respiratorias (8%). Un análisis de riesgos proporcionales de Cox fue usado para evaluar la asociación de muertes por enfermedades cardiovasculares con un aumento de material particulado. Se encontró que aumentos de un 10 µg/m<sup>3</sup> de incremento en el riesgo de la mortalidad entre un 8% y 18%. Los resultados de este estudio sugiere que la contribución del tabaquismo está asociado a la progresión de la mortalidad tanto de origen cardiovascular como

pulmonar por si mismo, mientras que la exposición crónica a PM contribuye a la mortalidad a largo plazo por estas mismas patologías pero lo hace por exacerbación de enfermedades existentes.<sup>(26)</sup>

Un estudio que evaluó la asociación entre la contaminación atmosférica por material particulado, fue realizado por la Universidad de Harvard, en seis ciudades de los Estados Unidos, fueron estudiados 8111 personas adultas que se siguieron durante 14 y 16 años, en este estudio la ciudad con mayor nivel de contaminación presentó una mortalidad total 26% mayor que la encontrada en la ciudad menos contaminada.<sup>(48)</sup>

Si bien, en esta investigación no se exploró la asociación entre la enfermedad o mortalidad de origen cardiovascular y la exposición a la contaminación atmosférica, es importante tener en cuenta esta asociación para ser explorada en futuras investigaciones.

### **6.3 Limitaciones**

Entre las limitaciones de esta investigación se cuentan las atribuibles a la espirometría como método diagnóstico, las que tienen que ver con la información basada en registros, las que tocan con la evaluación de la exposición poblacional e individual y las inherentes al diseño metodológico empleado.

La espirometría como se ha mencionado, permite diagnosticar obstrucción de la vía aérea y posibles restricciones de la función pulmonar, sin embargo los criterios de la interpretación aún son motivo de controversia.<sup>(32)</sup> El origen de esta afirmación está dada en parte, por situaciones ya expuestas como la carencia de valores de referencia para grupos poblacionales específicos o de alto mestizaje como ocurre en Colombia.

En esta investigación se consideraron los criterios clásicos de evaluación de la función pulmonar con base en criterios espirométricos, en especial se consideró la variable %VEF<sub>1</sub>/CVF, por ser este un buen indicador de la capacidad pulmonar y la eficiencia ventilatoria auto-ajustado por las características antropométricas del sujeto.

Sin embargo, a lo largo de la historia se ha empleado diversos criterios espirométricos para definir la presencia de afectación de la función pulmonar, en especial se ha buscado estandarizar los criterios para definir la EPOC, los más recientemente propuestos consideran la relación FEV<sub>1</sub>/FVC pero complementada con indicadores adicionales; por ejemplo, que dicha relación sea menor del 0.70 pos-broncodilatador o menor del 0,75 sin broncodilatador, otros criterios incluyen que adicionalmente la alteración del VEF<sub>1</sub>/CVF aunado a que el FEV<sub>1</sub> sea menor del 80% del predicho, el criterio más reciente propuesto es la relación FEV<sub>1</sub>/CVF menor que el límite más bajo de lo normal (LLN), este último criterio surge de ecuaciones realizadas a partir de análisis estadísticos provenientes de grandes estudios de base poblacional que consideraron el sexo, la edad, la etnia, el peso y la talla de los pacientes.<sup>(49)</sup> Anexo 4

Convendría para futuros estudios evaluar alguno de los nuevos criterios de alteración de la función pulmonar mencionados y en especial determinar con mayor precisión los patrones de normalidad en nuestra población, criterios que de ser tenidas en cuenta podrían aportar mayor poder predictivo y validez a la prueba diagnóstica que se emplee.

Entre las limitaciones de este estudio también se cuenta con las que son inherentes a información basada en registros, si bien los datos fueron recolectados por personal del grupo de investigación con altos estándares de calidad, algunas variables podrían haber sido evaluadas con más nivel de detalle y discriminación, como por ejemplo la caracterización exhaustiva de la variable condición de fumador; por ejemplo, antigüedad, intensidad, periodos de cesación, edad de inicio del consumo, consumidor pasivo, entre otros.

Al respecto del punto anterior, conviene mencionar una vez más que se decidió considerar a las personas fumadoras actuales y las exfumadores dentro de la categoría de fumadores, puesto que su comportamiento a nivel de indicadores espirométricos semejaba más a este último grupo. Sin embargo, es posible que en este grupo existan personas sin alteración funcional que cesaron prontamente el tabaquismo y personas con problemas respiratorios crónicos ocasionados por el uso de este nocivo hábito durante largos periodos de tiempo, sería interesante poder profundizar en futuras investigaciones sobre este último aspecto.

Una de las consideraciones de la epidemiología ambiental más interesante es la caracterización de la medida de exposición, se refiere a la concentración de un agente químico o físico en el entorno, para nuestro caso el material particulado y el humo de tabaco. La exposición es un elemento clave para la epidemiología ambiental, implica estudiar la emisión del agente, su concentración en el entorno, la presencia de una dosis interna en los sujetos evaluados, que a su vez depende de la magnitud, la duración y la frecuencia de la exposición, y llega hasta la aparición de enfermedades inducidas por dicho agente. Como se puede deducir, es un asunto complejo que amerita considerar nuevas variables y formas de medición que a su vez requiere de diseños de estudios de mayor complejidad a los aquí considerados.<sup>(50)</sup>

En este estudio tras conocer los niveles de PM<sub>10</sub> correspondientes, para garantizar la exposición a un determinado nivel de PM<sub>10</sub>, se decidió tener como criterio de inclusión personas sanas que residieran o laboraran permanentemente durante un tiempo mínimo de exposición al ambiente de dicho lugar por al menos un año y la permanencia de por lo menos 8 horas diarias en el sitio seleccionado, este criterio si bien es práctico y de carácter ambiental y muy empleado en esta área de la epidemiología, no permite la identificación de las variaciones individuales de la actividad de la vida diaria de los sujetos, además suele ser determinada a partir de muestras tomadas en un punto determinado, sin tener en cuenta la representatividad de dicha muestra, hecho que debe ser tenido en cuenta en el análisis de la información aquí presentada.

Con relación a la identificación de la variabilidad de la exposición entre cada individuo como al interior de cada uno de ellos, existe una dificultad adicional, los marcadores biológicos para la determinación de PM<sub>10</sub> aún no están disponibles, para el tabaco existen marcadores como la determinación de la cotinina en suero o saliva<sup>(51)</sup> y el nivel de carboxihemoglobina, pero hasta ahora

con pobre correlación entre estas y el número de cigarrillos fumados, además de los altos costos que acarrearía realizar este tipo de procedimientos. Lo anterior aunado a que el efecto de un factor ambiental depende en gran medida de las características propias de cada individuo, como la edad, el sexo, la condición física, entre otros,<sup>(52)</sup> y que muchos de los efectos sobre la salud humana producidos por la contaminación atmosférica y el consumo de tabaco, solo son evidentes tras largos períodos de exposición.

Otra consideración a tener en cuenta es una inherente al diseño original de este estudio. Si bien, los estudios transversales tienen grandes ventajas en cuanto a los costos y tiempo requerido para la obtención de los resultados, en comparación con los que llevaría un estudio de cohorte, por ejemplo, o la posibilidad de explorar en un momento dado diversas exposiciones y efectos en un mismo estudio, como fue el caso de esta investigación, donde se exploró dos exposiciones, la contaminación del aire y el tabaquismo, o la ventaja adicional que proporciona el la información proveniente de este tipo de estudios para tomar decisiones, hacer análisis para administrar, planear y proponer acciones políticas, así como determinar la necesidades y demandas en los sistema de salud y evaluar programas de intervención. Sin embargo, entre las principales limitaciones de este tipo de estudios se cuenta con la inferencia causal que se hace entre la temporalidad de la causa y el efecto, esta situación se presenta porque por lo general no se conoce la duración de la enfermedad en los casos prevalentes y porque la exposición es medida al mismo tiempo que la enfermedad, pero por lo general no es posible determinar si la exposición está precedida de la ocurrencia de la enfermedad.<sup>(53)</sup>

## **6.4 Implicaciones**

Esta investigación aporta elementos en la discusión sobre la existencia de alteraciones de la función pulmonar de sujetos fumadores, al igual que ocurre con la exposición a la contaminación atmosférica. Entre los retos que plantea esta investigación se encuentran proponer nuevos diseños desde la epidemiología ambiental, las implicaciones que tiene la evaluación y el manejo del riesgo ambiental, propuestas de vigilancia epidemiológica y finalmente, se expone posibilidades de aplicación de los resultados de esta investigación en los sujetos fumadores.

Las posibilidades de diseño que la epidemiología ambiental moderna provee son innumerables, cada vez son más las metodologías que pueden ser empleadas para responder a las preguntas de los investigadores en este campo, entre las que se cuentan los estudios de casos y controles, los estudios ecológicos geográficos y temporales, la aparición de nuevos diseños como los estudios de casos y controles anidados a cohortes, entre otros, son posibilidades metodológicas, que podrían ser aplicados en investigaciones futuras sobre los aspectos tratados y con ello realizar nuevos aportes analíticos en áreas como la investigación de epidemias y agrupaciones, la evaluación del impacto de accidentes ambientales, la vigilancia epidemiológica y monitorización de riesgos ambientales, el establecimiento de estándares ambientales y la evaluación de las intervenciones, entre otros.<sup>(50)</sup>

En cuanto al riesgo de origen ambiental, en los últimos años, el mundo ha puesto su atención en el uso de los principios epidemiológicos para estimar el riesgo potencial que tiene el ambiente para la salud o para el desarrollo de proyectos industriales o agrícolas. En muchas ciudades se ha

implementado la evaluación del impacto ambiental mediante análisis de predicción y la vigilancia ambiental a partir del análisis de la situación existente, investigaciones que han influido en la generación de la normatividad ambiental de muchos países.

Estudios como el presentado permiten ser un primer eslabón en la cadena de otras investigaciones que permitan tomar decisiones políticas acertadas a favor de la salud pública en materia ambiental de países como Colombia, en lo que respecta a la evaluación y al manejo de este tipo de riesgos.

En la evaluación del riesgo,<sup>(52)</sup> el primer paso es identificar potenciales peligros para la salud, este es el caso de esta investigación, donde se trató de determinar la asociación entre la contaminación atmosférica por PM<sub>10</sub> y el tabaquismo con las alteraciones de la función pulmonar. El segundo paso consiste en analizar el tipo de efecto sobre la salud que cada riesgo puede causar, situación en la cual la literatura ya tiene aportes valiosos, existen diversos artículos que sustentan diversos mecanismos fisiopatológicos que permiten argumentar la plausibilidad biológica de la acción de la contaminación y el tabaco sobre la salud. Como tercer paso se propone medir los actuales niveles de exposición para las personas potencialmente afectadas, para lo cual se propone la monitorización ambiental y biológica permanente, en este sentido el Municipio de Medellín continúa la evaluación de la calidad del aire, con su Red de Monitoreo RedAire. El cuarto paso es plantear estudios que evalúen la exposición en subgrupos de la población y se combinen con análisis de las relaciones dosis – efecto y dosis – respuesta de cada riesgo evaluado.

En cuanto al manejo del riesgo,<sup>(52)</sup> es importante en primer lugar, establecer los niveles máximos permitidos para la salud humana, por ejemplo, la OMS determina como nivel máximo permitido de PM<sub>10</sub> para exposiciones agudas 50 µg/m<sup>3</sup> y para exposiciones crónicas 20 µg/m<sup>3</sup> cifras ampliamente superadas en el Municipio de Medellín, el siguiente paso es reducir las emisiones existentes, para lo cual se debe tomar medidas de diversa naturaleza, entre las cuales podemos citar las coercitivas, las persuasivas y las educativas, en Medellín, existe una serie de ejemplos que ilustra esta situación: el control de emisión de gases vehiculares, la fiscalización de las emisiones de gases en industrias, la introducción de los bio-combustibles que incorpora en la mezcla de hidrocarburos un alcohol, la motivación en la utilización del gas vehicular, entre otros. El último paso propuesto es la monitorización permanente de la exposición y la evaluación de los riesgos para la salud después de introducir y poner en práctica los controles mencionados.

A partir de este último aspecto, se hace necesario el desarrollo de sistemas de vigilancia epidemiológica en materia ambiental, dicho sistema permitiría la identificación de aspectos relacionados con la aparición de enfermedades de manera oportuna y eficaz, así como hacer recomendaciones sobre diversos aspectos a considerar en materia ambiental. Un sistema de vigilancia consiste en la generación y recolección de datos, procesar, analizar e interpretar dichos datos, hacer recomendaciones que finalmente sean traducidas en acciones. La vigilancia ambiental clásicamente se ha diversificado en la vigilancia de agentes nocivos en el ambiente, en el organismo de las personas, de los factores de riesgo o de los efectos para la salud. En este sentido, es necesario continuar con la monitorización permanente para la generación de la información sobre la calidad de aire del Municipio de Medellín, datos que permitirán junto con otros procesos de vigilancia como la realización de encuestas poblacionales, registros de atención en los servicios de urgencias y consulta externa, la evaluación de la demanda en los servicios de atención por síntomas

y enfermedades agudas y crónicas relacionados con la contaminación del aire. Por ahora este es un reto que debería asumir la ciudad en colaboración con la academia, el sector público y privado, así como la ciudadanía en general.

Finalmente, para los consumidores de tabaco, las implicaciones de esta investigación están a favor de recomendar la realización de la espirometría a todos los fumadores, incluso antes de que aparezcan los síntomas de restricción pulmonar, en especial aquellos que contemplan la posibilidad de dejar de fumar, o para alentarlos a hacerlo, como parte de los argumentos usados para motivar la cesación de este nocivo hábito. Por ejemplo, diversos estudios que han evaluado el comportamiento de las variables espirométricas tras la cesación del tabaquismo, demuestran una atenuación en el descenso del VEF<sub>1</sub>, si la cesación se logra antes de los 45 - 50 años, se podría preservar el VEF<sub>1</sub> con valores normales y reducir el riesgo de complicaciones cardiorrespiratorias asociadas, razón de peso para promover la cesación tabáquica, estudios como el anterior demuestran la utilidad clínica de la tamización con espirometría a los fumadores asintomáticos y se recomienda realizarla de manera temprana, antes de los signos de limitación del flujo aéreo.<sup>(54, 55)</sup>

Otros autores también insisten en incluir la espirometría en la atención regular de los fumadores, y plantean que podría incorporarse en los protocolos de atención de los servicios de salud dada la factibilidad de adquirir espirómetros a precios razonables y la potencialidad diagnóstica y de seguimiento que tiene la espirometría, una prueba inocua y sin muchos requerimientos técnicos, entre otras ventajas.<sup>(56, 57)</sup> Por lo general, los individuos con síntomas respiratorios mínimos no requieren atención médica, por lo tanto no consultan a su médico, al igual que no intentan dejar de fumar, Miravittles M y colegas, en su estudio atribuyen ese hecho a la falta de conocimiento acerca de la EPOC y sugieren que los médicos deberían brindar más información acerca de esta enfermedad e incrementar el uso de la espirometría para la detección temprana.<sup>(56)</sup> Kotz D, también insiste que esta tamización debe integrarse al estado del arte en los tratamientos de cesación de tabaco.<sup>(58)</sup>

En general, con relación a la contaminación atmosférica y al tabaquismo como agentes que pueden producir alteraciones de la función pulmonar, existen grandes retos. Se propone que se realicen acciones desde abordajes integrales, con la participación de múltiples sectores que se traduzcan en decisiones en materia de políticas públicas ambientales claras y encaminadas a proteger a las personas, que diariamente se exponen a estos agentes contaminantes, en la mayoría de veces inadvertido.

## VII. Conclusiones y recomendaciones generales

En el estudio realizado, las personas que se expusieron al tabaco presentaron alteraciones en la función pulmonar y se encontró un 54% en el exceso de dicho riesgo comparado con quienes no se expusieron.

En la población evaluada, quienes se expusieron a ambientes contaminados por material particulado respirables menor a  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  también presentaron un riesgo aumentado de padecer alteraciones de la función pulmonar, encontrándose un exceso de riesgo de 61%.

En la población que se expuso de manera conjunta a la exposición a tabaquismo y a ambientes contaminados con material particulado respirable menor a  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  presentó un exceso de riesgo de 127% de tener alteraciones de la función pulmonar, dicho exceso de riesgo es igual a la suma de las exposiciones individuales.

La prevalencia de alteraciones de la función pulmonar es variable según la exposición presentada, es mayor cuando se combinan factores como el tabaquismo y la contaminación del aire, seguida de quienes solo se exponen a la contaminación, en un tercer lugar los que solo se exponen al tabaco y finalmente la menor de todas ocurre en quienes no se exponen a ninguno de los dos factores anteriores. Sin embargo, la presencia de esta pequeña alteración en personas sin exposición a los factores mencionados indica que existen más variables que pueden alterar la función pulmonar no consideradas en este estudio por lo tanto, es importante emprender nuevos estudios que permitan identificarlos y analizarlos, se sugiere en futuros estudios considerar la edad como una de estas principales variables a estudiar.

La detección de las alteraciones de la función pulmonar permite identificar las personas en alto riesgo de tener enfermedad pulmonar, hecho que permite emprender programas oportunos de prevención en enfermedades relacionadas con la contaminación atmosférica y el consumo de cigarrillo.

## Agradecimientos

Sinceros agradecimientos al grupo de docentes de la Maestría en Epidemiología de la Facultad Nacional de Salud Pública de la Universidad de Antioquia coordinado por la Dra. María Patricia Arbeláez, quienes con sus enseñanzas han hecho posible que mi interés por esta área del conocimiento se incremente y se fortalezca, y siempre en dirección hacia el norte que traza la salud pública.

Un agradecimiento muy especial a los docentes de la línea de epidemiología, profesores Dr. Elkin Martínez, Dr. Leonardo Uribe, Lic. Juan Fernando Saldarriaga, quienes con gran vocación y destrezas pedagógicas han hecho de esta experiencia un verdadero aprendizaje de vida, trascendiendo las esferas académicas.

A los compañeros de la XI cohorte de la Maestría en Epidemiología, muchas gracias. Su admirable tesón, sus valiosos aportes, las interesantes discusiones de las que pude hacer parte y los retos que planteó la interacción con cada uno de los integrantes, ha desempeñado un papel crucial en mi formación como académica y como persona. De manera muy especial deseo destacar a mis compañeras Nydia Caicedo, Diana Marín y María Garzón, excelentes mujeres, académicas comprometidas con la sociedad y con pasión transformadora en sus corazones.

Nuevamente un especial agradecimiento al Dr. Elkin Martínez asesor de esta tesis, su direccionamiento y recomendaciones, así como la información suministrada para realizar los análisis que aquí se presentan, fueron fundamentales para el logro de los objetivos propuestos.

Finalmente, este logro académico y el reto de ser una epidemióloga salubrista, que inicia al entregar esta tesis, se debe a mi familia, para todos ellos muchas gracias por su constante apoyo, su interés durante todo este proceso, acompañamiento permanente y el amor incondicional, motor que alienta mi espíritu y me anima a continuar en este sendero.

## Bibliografía citada

1. Czeresnia D, Machado de Freitas C. Promoción de la salud: conceptos, reflexiones, tendencias. Buenos Aires, Argentina: Lugar Editorial; 2006.
2. Moeller DW. Environmental Health, Cambridge, MA: Harvard University Press. 1992. Citado en: Merrill RM Environmental Epidemiology Principles and Methods. United States of America: Jones and Barlett Publishers; 2008.
3. Doll R, Bradford H. Smoking and Carcinoma of the lung. British medical journal. 1950;Sept. 30.
4. Health and Human Services. The health consequences of involuntary exposure to tobacco smoke: a report of the surgeon general. [Sitio en internet] Disponible en: <http://www.surgeongeneral.gov/library/secondhandsmoke/>. Citado en Merrill RM, Environmental Epidemiology Principles and Methods. United States of America: Jones and Barlett Publishers; 2008.
5. Merrill RM, Environmental Epidemiology Principles and Methods. United States of America: Jones and Barlett Publishers; 2008.
6. Martinez L E, Bedoya V J, Correa M, Paz J, Morales O, Romero A, et al. Contaminación atmosférica y efectos sobre la salud de la población, Medellín y su área metropolitana. Diagnóstico ambiental;2007. [Sitio en internet]. Disponible en: <http://www.metropol.gov.co/aire/contenidos.php?seccion=1>. Consultado: agosto 2009.
7. Medellín. Área Metropolitana. Sistema de Información Metropolitano de la Calidad Del Aire. [Sitio en internet] Disponible en: <http://www.metropol.gov.co/aire/contenidos.php?seccion=1>. Consultado: 10 de diciembre de 2009.
8. Pastor P F, Vicéns L I S. Aspectos históricos, sociales y económicos del tabaco. Adicciones. 2004;16 (supl. 2):13-52.
9. Serrano MA, Rojo B. Historia y epidemiología del tabaquismo. En: Jiménez R CA, Solano R S, editores. Monografías Neumomadrid: Tabaquismo. España: Ergon; 2004. p. 9-27.
10. Twardella D, Brenner H. Effects of practitioner education, practitioner payment and reimbursement of patient's drug costs on smoking cessation in primary care: a cluster randomised trial. Tob Control. 2007 Feb;16(1):15-21.
11. OMS. Estadísticas Sanitarias Mundiales 2008: Parte 1. Diez cuestiones de especial interés en las estadísticas sanitarias. [Sitio en internet]. [www.oms.com](http://www.oms.com). Consultado: 7 de julio de 2008.
12. De Restrepo H, Correa P, Haenszel W, Brinton L, Franco A. Relación del tabaquismo con cánceres de vías respiratorias, digestivas y urinarias. Estudio de casos y testigos. Bol Of Saint Panam. 1988;105(3):221-30.
13. Teo K, Ounpuu S, Hawken S, Pandey MR, Valentin V, Hunt D, et al. Tobacco use and risk of myocardial infarction in 52 countries in the INTERHEART study: a case-control study. The Lancet. 2006 (368 agos. 19):647-58.
14. Caballero A, Torres-Duque CA, Jaramillo C, Bolivar F, Sanabria F, Osorio P, et al. Prevalence of COPD in five Colombian cities situated at low, medium, and high altitude (PREPOCOL study). Chest. 2008 Feb;133(2):343-9.
15. Ortega H. Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica -EPOC- Diagnóstico y manejo integral. Recomendaciones. Asociación Colombiana de Neumología y Cirugía del Tórax. 2003;15 (Supl):1-34.
16. World Health Organization. Tobacco or health: a global status report. Geneva: WHO. 1997.
17. Ortega H, Ortega J. Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica. Programa de Actualización Médica. Medellín: Ascofame; 2005. p. 7-39.

18. World Lung Foundation. American Cancer Society. The Tobacco Atlas 2008. [Sitio en internet]. Disponible en: <http://tobaccoatlas.org/jointhankscfm>. Consultado: diciembre 15 de 2009.
19. Colombia. Ministerio de la Protección Social. Dirección Nacional de Estupefacientes. Estudio Nacional de Consumo de Sustancias Psicoactivas en Colombia: informe Final. Bogotá: Ministerio de la Protección Social; 2008.
20. EPA. United States Environmental Protection Agency. [Sitio en internet]. Disponible en: <http://www.epa.gov/ebtpages/airhtml>. Consultado: 15 de diciembre 2009.
21. WHO. Air Quality Guidelines Global Update Bonn, Germany; 2005. [Sitio en internet]. Disponible en: <http://www.euro.who.int/Document/E87950.pdf>. Consultado: 15 de diciembre 2009.
22. OMS. Calidad del aire y salud. Agosto; 2008. [Sitio en internet]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/index.html>. Consultado: 28 dic 2009.
23. Saldarriaga J, Echeverri C, Molina F. Partículas suspendidas (PST) y partículas respirables (PM10) en el Valle de Aburrá, Colombia. Rev Fac de Ingeniería Universidad de Antioquia, Medellín. 2004 (32):7-16.
24. López Y. Epidemiología ambiental: Situación de salud pública mundial. Presentación oral, En curso epidemiología ambiental. Maestría Epidemiología XI Cohorte, UdeA; 2009.
25. Pope III CA, Burnett RT, Thun MJ, al. E. Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution JAMA. 2002;287(9):1132-41.
26. Pope III CA, Burnett RT, Thurston GD, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, et al. Cardiovascular Mortality and Long -Term Exposure to Particulate Air Pollution: Epidemiological Evidence of General Pathophysiological Pathways of Disease. Circulation. 2004;109:71-7.
27. Colombia. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial República de Colombia. Resolución 909 de 2008 por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones. Bogotá: publicación Diario Oficial; 2008.
28. Sanchez T. H, Kulsum A, Yewande A, Prioridades Ambientales para la Reducción de la Pobreza en Colombia. Bogotá: Banco Mundial Mayol Ediciones; 2007.
29. Bedoya V J, Martínez L E. Calidad del aire en el Valle de Aburrá Antioquia-Colombia. Dyna, Rev Fac Minas Universidad Nacional. 2009;158 año 76:7-15.
30. Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Universidad Pontificia Bolivariana. Monitoreo de la calidad del aire en las laderas del Valle de Aburrá. Convenio de cooperación 289 de 2006. Capítulo 7. Medellín: UPB; 2008.
31. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Procedimiento para la determinación de la concentración de partículas suspendidas menores a 10 micras en el aire ambiente por el método PM<sub>10</sub> 2007. Disponible en: <http://www.metropol.gov.co/aire>. Consultado: 29 dic de 2009.
32. Medbo A, Melbye H. Lung function testing in the elderly-can we still use FEV1/FVC<70% as a criterion of COPD? Respir Med. 2007 Jun;101(6):1097-105.
33. José A. Tabares, Fundación Universidad Católica Madre y Maestra. Departamento de medicina. Espirometría, fisiología: infecciones en el niño biológica. Santiago, Rep. Dominicana: Área Ciencias Fisiológicas; 2004.
34. Fundación Neumológica Colombiana. Laboratorio de función pulmonar, Manual de procedimientos. Capítulo IV, Curva de flujo volumen. Bogotá.
35. Bellamy D, Booker R, Connellan S, Halpin D, Spirometry in practice: A practical guide to using spirometry in primary care. 2 ed. London: British Thoracic Society (BTS) COPD Consortium; 2005.
36. Linderberg A, Larsson LG, Roumlnmark E, Jhonson AC, Learsson K, Lundbaumlck B. Decline in FEV1 in Relation to Incident Chronic Obstructive Pulmonary Disease in a Cohort with Respiratory Symptoms Journl COPD: Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease 2007;4 (1):5-13.
37. Ossés JM. Estudios en el laboratorio pulmonar. [Sitio en internet]. Disponible en: <http://74.125.47.132/search?q=cache:hCex-jPu4TMJ:www.aamr.org.ar/cms/archivos/secciones/neumoclinica/labfuncpulmonar.doc+Oss%C3%A9s+JM.+Estudios+en+el+laboratorio+pulmonar.&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co&client=firefox-a>. Consultado: 23 de enero de 2009.
38. Calverley P, Agusti C, Anzueto A, Barnes P, Decramer M, Fukuchi Y, et al. The Global Strategy for Diagnosis, Management and Prevention of COPD. The pocket guide: Global Initiative for Chronic

- Obstructive Lung Disease; Vancouver, Washington: Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease, Inc; 2008.
39. Futuramed America Inc. Manual del Usuario espirómetro Discovery-2. [Sitio en internet]. Disponible en: <http://www.futuremedamerica.com/spirometers.htm> Consultado: 28 dic 2009.
  40. Martínez L E, Quiroz C, Daniels C F, Montoya E A. Contaminación atmosférica y efectos sobre la salud de la población, Medellín y su área metropolitana. Efectos en la salud. 2007 Disponible en: <http://www.metropol.gov.co/aire/contenidos.php?seccion=1>. Consultado: 29 dic de 2009. .
  41. Rodríguez M, Rojas M, Guevara D, Dennis R, Maldonado D. Generación de valores de referencia para la evaluación de la espirometría: estudio en una población colombiana. *Acta Med Colomb.* 2002;27 No. 6:389-97.
  42. Castro Pereira C, Sato T, Rodríguez S. New reference values for forced spirometry in white adults in Brazil. *J Bras Pneumol.* 2007;33(4):397-406.
  43. Fletcher C, Peto R. The natural history of chronic airflow obstruction. *British medical journal.* 1977;1:1645-8.
  44. Cosío M, Saetta M, Augusti A. Review article, Mechanisms of disease: Immunologic Aspects of Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *The New England Journal of Medicine.* 2009;360(23):2445-54.
  45. Antonisen NR, Connett JE, Murray RP. Smoking and lung function of lung health study participants after 11 years. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002;166:675-9.
  46. Pope III CA, Bates DV, Raizenne ME. Health Effects of Particulate Air Pollution: Time for Reassessment? *Environmental Health Perspect.* 1995;103:472-80.
  47. Forbes L, Kapetanaskis V, Rudnicka A, Cook D, Bush T, Stedman P, et al. Chronic exposure to outdoor air pollution and lung function in adults. *Thorax.* 2009;64:657-63.
  48. Dockery D, Pope III CA, Xu X, Soplenger J, Ware J, Fay M, et al. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N Engl J Med.* 1993;329(24):1753-9. Citado en *Actividad Física y Salud Cardiovascular, en búsqueda de la relación dosis respuesta*, Gallo JA, Saldarriaga JF, Clavijo M, Arango EF, Rodríguez N, Osorio JA, Editorial CIB, Universidad de Antioquia; 2009
  49. Swanney M, Ruppel G, Enright P, Pedersen O, Crapo R, Miller M, et al. Using the lower limit of normal for the FEV1/FVC ratio reduces the misclassification of airway obstruction. *Thorax.* 2008;63:1046-51.
  50. Antó B J, DSunyer D J. La epidemiología ambiental. En: Martínez F, Antó JM, Castellanos PL, Gili M, Maset P, Navarro Y. *Salud Pública. España: Interamericana MGH; 1999. p. 259-70.*
  51. Blackford AL, Yang G, Hernandez-Avila M, Przewozniak K, Zatonski W, Figueiredo V, et al. Cotinine concentration in smokers from different countries: relationship with amount smoked and cigarette type. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 2006 Oct;15(10):1799-804.
  52. Bonita R, Beaglehole R, Kjellström T. Chapter 9: Environmental and occupational epidemiology. En: WHO. *Basic epidemiology.* Geneva, Switzerland: WHO; 2006. p. 145-64.
  53. Morgenstern H, Thomas D. Principles of study design in environmental epidemiology. *Environmental Health Perspect.* 1993;101 (Suppl 4):23-38.
  54. Young RP, Hopkins R, Eaton TE. Forced expiratory volume in one second: not just a lung function test but a marker. *Eur Respir J.* 2007;30(4):616-22.
  55. Hecht SS. Cigarette smoking and lung cancer: chemical mechanisms and approaches to prevention. *Lancet Oncol.* 2002 Aug;3(8):461-9.
  56. Miravittles M, De la Roza C, Morera J, Montemayor T, Gobartt E, Martín A, et al. Chronic respiratory symptoms, spirometry and knowledge of COPD among general population. *Respir Med.* 2006;100:1973-80.
  57. Hueto J, Cebollero P, Pascal I, Cascante JA, Eguía VM, Teruel F, et al. Spirometry in primary care in Navarre, Spain. *Arch Bronconeumol.* 2006 Jul;42(7):326-31.
  58. Kotz D, Huibers MJH, Vos R, Van Schayck CP, G. W. Principles of confrontational counselling in smokers with chronic obstructive pulmonary disease (COPD). *Medical Hypotheses.* 2008;70:384-6.

## **Anexos**

Se anexa en orden:

**Anexo 1.** Prevalencias de consumo de tabaco en Colombia, 1977-2008

**Anexo 2.** Detalle de monitoreo de PM<sub>10</sub> por ciclos de 24 horas en algunas estaciones del Área Metropolitana, y rosas de los vientos según el área.

**Anexo 3.** Definiciones de indicadores espirométricos

**Anexo 4.** Criterios para evaluación de EPOC según varias organizaciones, listado por año

**Anexo 5.** Encuesta para recolección de la información

## Anexo 1. Prevalencias de consumo de tabaco en Colombia, 1977-2008

Año	Fuente	Prevalencia %			Edad	n	Definición
		Total	Hombres	Mujeres			
1977	Estudio Nacional de Salud 1977-1980, población no institucionalizada.	38,7	52,4	26,2	>15	6277	Fumador habitual: fumaba desde hacía un año o más, cigarrillo, tabaco o pipa: "fumó al menos un cigarrillo/día en el último año?"
1987	Torres Y, Murelle L, Estudio Nacional sobre alcoholismo y consumo de sustancias que producen dependencia. Medellín, U de A. 1989.	29,7	37,5	22,2	12 a 64	2800	Haber fumado por lo menos una vez, durante un año anterior a la encuesta
1992	ENCSS, Rodríguez E, Duque L, Rivero D, Huertas J. Santafé de Bogotá, D.C.	25,8	34,9	19,1	12 a 60	-	Haber fumado por lo menos una vez, durante un año anterior a la encuesta
1993	Consumo de tabaco y alcohol, según Encuesta de Conocimientos Actitudes y Prácticas. Tomo VI	21,4	29	14	18 a 69	12746	Haber fumado (y fumar en la actualidad) más de 100 cigarrillos, tres paquetes de pipa o más de 50 tabacos o habanos
1993	ENFREC I, Estudio Nacional de Factores de Riesgo para E. Crónicas	21,4	29,3	13,9	18 a 69	11975	Haber fumador más de 100 cigarrillos en la vida y ser fumador actual
1996	Estudio Nacional sobre consumo de sustancias psicoactivas Colombia 1996, Rodríguez O, E. Santa Fé de Bogotá, 1997	21,4	29	14,2	12 a 60	18770	Haber fumado por lo menos una vez, durante un año anterior a la encuesta
1997	Estudio Nacional de salud mental y consumo de sustancias psicoactivas Colombia. Torres Y, Montoya I. Min Salud, Rep Colombia.	25,9	27,3	24,7	> 12		Consumidores actuales con exconsumidores recientes: personas que fumaron hasta el año anterior al estudio
1998	ENFREC II, Estudio Nacional de Factores de Riesgo para Enfermedades Crónicas.	18,9	26,8	11,3	18 a 69	3999	Consumidor actual de 100 o más cigarrillos en la vida
		31,4	44	19,1			Consumidor actual con exconsumidores
2003	Fumadores adultos en Colombia, quien no está dejando de fumar. Datos del ENSM Colombia 2003. Principales resultados del ENSM 2007. Posada. J.	17	24	12	18 a 65	4426	Fumador actual o persistente: Fumadores habituales o que habían fumado al menos una vez en año pasado.
2007	CARMEN	20,8	29,7	13,4	15 a 64	3000	Ha fumado más de 100 cigarrillos en la vida
2007	ENS 2007, Unión temporal SEI S.A. Pontificia Universidad Javeriana, Observatorio de salud pública de Santander.	12,8	19,5	7,4	18 a 69	29136	Fumador actual de 100 cigarrillos o más en la vida
2007	ENS (Encuesta Nacional de Salud) 2007 Universidad de Antioquia FNSP	29,0			>12	29136	Haber fumado más de 100 cigarrillos, tres paquetes de pipa o más de 50 tabacos o habanos.
		18,6					Fumador act. cigarrillo
		19,7					Fumador act. (cig +pipa +tab)
2008	Diagnostico de Salud Cardiovascular Global Medellín	24,8	28,8	23	>30	800	Fumador actual o fumador en el pasado y tenía un año o menos de haber dejado el hábito.

## Anexo 2. Detalle de monitoreo de PM<sub>10</sub> por ciclos de 24 horas en algunas estaciones del Área Metropolitana, y rosas de los vientos según el área

Tabla. Concentración diaria de PM<sub>10</sub> estación Aguacatala

Estación	Máx.	Mín.	n datos	Promedio	DE
Aguacatala	171,3	30	35	43,6	19

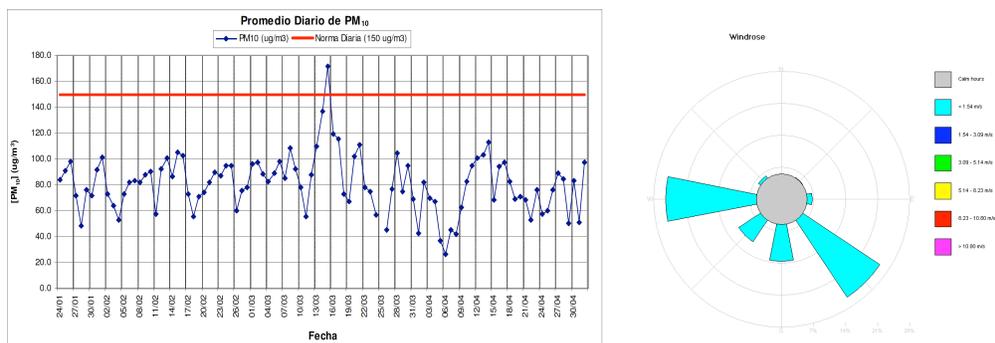


Figura. Variación de la concentración diaria de PM<sub>10</sub> y rosa de los vientos estación Aguacatala (ene 24 – may 02 de 2007)

Tabla. Concentración diaria de PM<sub>10</sub> estación Girardota

Estación	Máx.	Mín.	n datos	Promedio	DE
Girardota	105,1	0	35	43,6	19

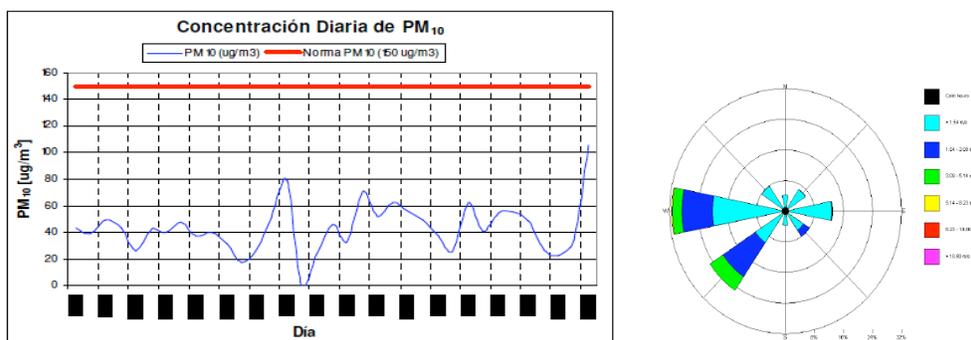


Figura. Variación de la concentración diaria de PM<sub>10</sub> y rosa de los vientos estación Girardota (may 9 – jun 12 de 2007)

Tabla. Concentración diaria de PM10 estación Carlos Holguín

Estación	Máx.	Mín.	n datos	Promedio	DE
Carlos Holguín	106,4	30	41	54,3	15,3

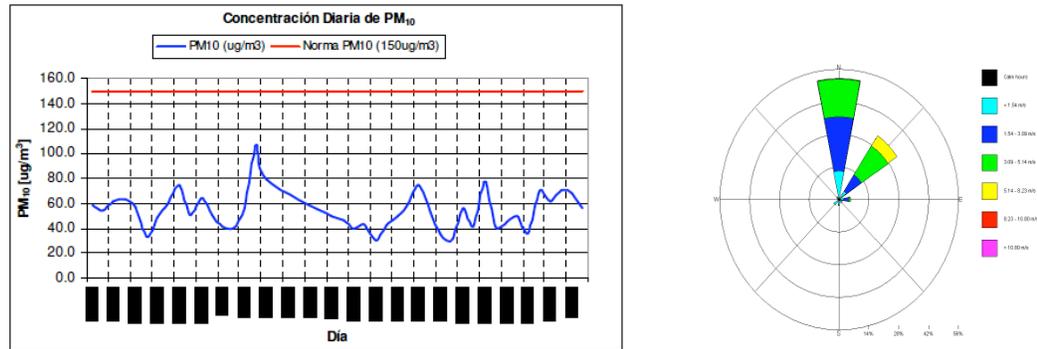


Figura. Variación de la concentración diaria de PM10 y rosa de los vientos estación Carlos Holguín (jun 19 – agos 08 de 2007)

Tabla. Concentración diaria de PM10 estación Robledo

Estación	Máx.	Mín.	n datos	Promedio	DE
Robledo	82,4	32,9	10	51,1	14,7

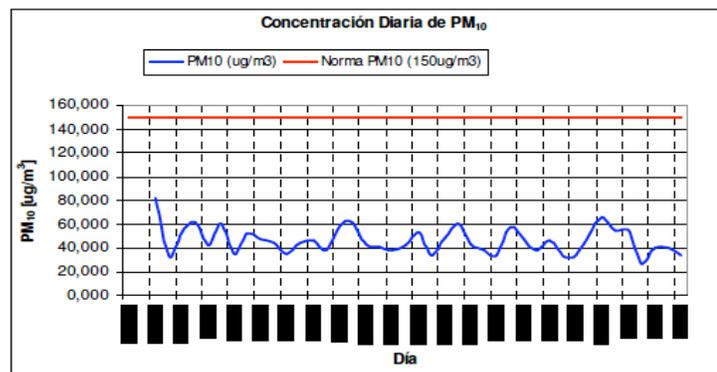


Figura. Variación de la concentración diaria de PM10 estación Robledo (sep 25 – nov 06 de 2007)

Tabla. Concentración diaria de PM10 estación Santa Mónica

Estación	Máx.	Mín.	n datos	Promedio	DE
Santa Mónica	66,7	30,8	12	50,1	12,0

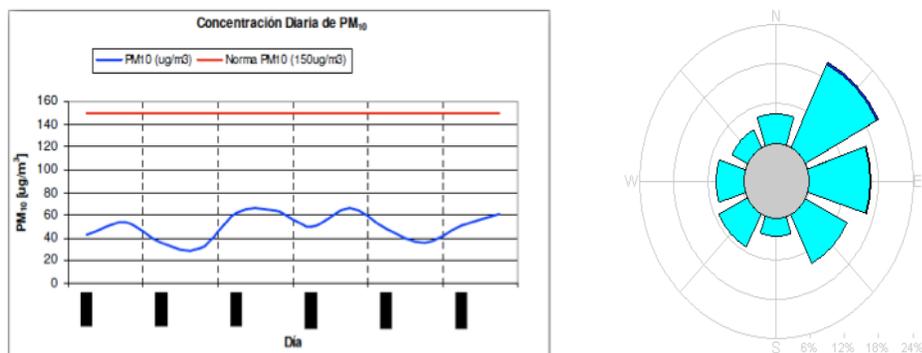


Figura. Variación de la concentración diaria de PM10 y rosa de los vientos estación Santa Mónica (agos 17 – agos 28 de 2007)

Tabla. Concentración diaria de PM10 estación Sabaneta

Estación	Máx.	Mín.	n datos	Promedio	DE
Sabaneta	64,2	0,0	28	38,9	16,2

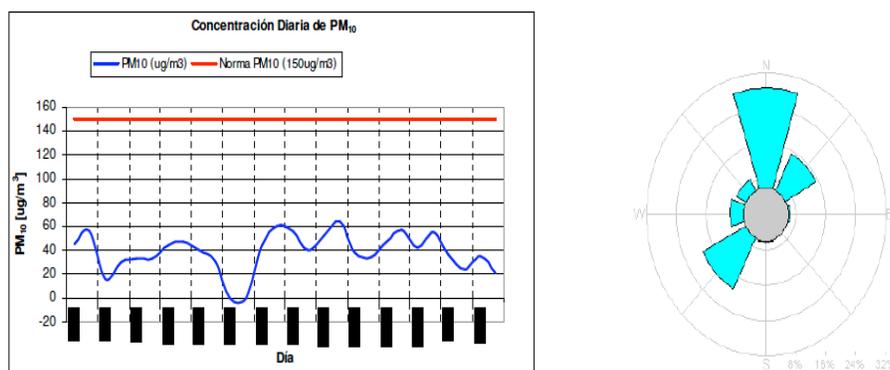


Figura. Variación de la concentración diaria de PM10 y rosa de los vientos estación Sabaneta (nov 11 – dic 04 de 2007)

### Anexo 3. Definiciones de indicadores espirométricos

Indicador (español,inglés)	Nombre	Definición	Información
VT	Volumen Corriente	Volumen de aire que entra y sale con cada movimiento respiratorio espontáneo	
VRI, IRV	Volumen de reserva inspiratorio	Es el máximo volumen de aire que una persona puede inhalar después de realizar una inspiración normal	Capacidad pulmonar
VRE, ERV	Volumen de reserva espiratorio	Es el máximo volumen de aire que una persona puede ser espirado al final de una espiración en reposo	Capacidad pulmonar
CI, IC	Capacidad Inspiratoria	Es la suma del volumen corriente y del volumen de reserva inspiratorio	
CRF, FRC*	Capacidad Residual Funcional	volumen de gas que permanece en los pulmones después de una espiración normal, no forzada	Capacidad pulmonar
CPT, TPC*	Capacidad Pulmonar Total	total de aire que se encuentra en los pulmones incluyendo el que no se puede eliminar	Capacidad pulmonar
CV, VC*	Capacidad Vital	Volumen de aire que se elimina lentamente de los pulmones en una espiración máxima	Capacidad pulmonar
CVF, FVC	Capacidad Vital Forzada	cantidad de aire expulsada enérgicamente tras un esfuerzo inspiratorio máximo	Capacidad pulmonar
VEF <sub>1</sub> , FEV <sub>1</sub>	Volumen Espiratorio Forzado en el primer segundo	Volumen aéreo que una persona es capaz de evacuar de sus pulmones, desde una inspiración máxima y en el transcurso de un segundo	Capacidad pulmonar
VEF <sub>1</sub> *100/CVF	Índice de Tiffeneau	Proporción del volumen espiratorio forzado durante un segundo relacionado con la capacidad vital	Eficiencia ventilatoria

<b>VEF<sub>0,5</sub>, FEV<sub>0,5</sub></b>	Volumen Espiratorio Forzado en medio segundo	Volumen aéreo que una persona es capaz de evacuar de sus pulmones, desde una inspiración máxima y en el transcurso de un segundo	Eficiencia ventilatoria
<b>FEP, PEF</b>	Flujo Espiratorio Pico	Flujo de aire máximo alcanzado durante la prueba de espiración forzada	Permeabilidad de las vías aéreas y de la potencia muscular espiratoria
<b>FEF<sub>25-75</sub>, MMEF</b>	Velocidad máxima del flujo mesoespiratorio	Velocidad del flujo aéreo durante la mitad media de la prueba de la FVC (es decir, el 25-75% de la FVC)	
<b>FEM<sub>25</sub>, MEF<sub>25</sub></b>	Flujo Espiratorio Medio temprano	Mediciones parciales tempranas del flujo espiratorio registrado durante la prueba	Eficiencia ventilatoria temprana
<b>FEM<sub>50</sub>, MEF<sub>50</sub></b>	Flujo medio mesoespiratorio	Mediciones parciales intermedias del flujo espiratorio registrado durante la prueba	Eficiencia ventilatoria media
<b>FEM<sub>75</sub>, MEF<sub>75</sub></b>	Flujo Espiratorio Medio Tardío	Mediciones parciales tardías del flujo espiratorio registrado durante la prueba	Eficiencia ventilatoria tardía

\* Indicadores aportados en una espirometría simple.

#### Anexo 4. Criterios para evaluación de EPOC según varias organizaciones, listado por año

Organización	Año	Criterio
<b>ECCS</b>	1983	VEF <sub>1</sub> /CV o VEF <sub>0,5</sub> /CVF < LLN
<b>ATS</b>	1987	VEF <sub>1</sub> /CVF < 0,75
<b>ATS</b>	1991	FEV <sub>1</sub> /CVF < LLN
<b>ECCS/ERS</b>	1993	VEF <sub>1</sub> /CV o VEF <sub>1</sub> /CVF < LLN
<b>ERS</b>	1995	VEF <sub>1</sub> /CV < 88% predicho (hombres) o 89% (mujeres)
<b>BTS</b>	1997	VEF <sub>1</sub> /CVF < 0,70 y VEF <sub>1</sub> < 80% predicho
<b>NLHEP</b>	2000	VEF <sub>1</sub> /CVF o VEF <sub>1</sub> /VEF <sub>6</sub> < LLN y FEV <sub>1</sub> < LLN
<b>GOLD</b>	2007	VEF <sub>1</sub> /CVF < 0,70 pos-broncodilatador
<b>NICE</b>	2004	VEF <sub>1</sub> /CVF < 0,70 y VEF <sub>1</sub> < 80% predicho
<b>ATS/ERS</b>	2004	VEF <sub>1</sub> /CVF < 0,70 pos-broncodilatador
<b>ATS/ERS</b>	2005	FEV <sub>1</sub> /CV < LLN

**ATS**, American Thoracic Society; **BTS**, British Thoracic Society; **ECCS**, European Community for Coal and Steel; **ERS**, European Respiratory Society; **GOLD**, Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease; **NICE**, National Institute for Health and Clinical Excellence; **NLHEP**, National Lung Health Education Program; **LLN**, Lower limit of normal (en español límite más bajo que el normal).

## Anexo 5. Encuesta para recolección de la información

### IDENTIFICACIÓN

cédula ..... sexo m..... f..... edad ..... estrato (1-6) \_\_\_\_\_  
 estudios primaria ..... secundaria ..... universitario ..... años en la zona \_\_\_\_\_ lugar \_\_\_\_\_  
 fumador nunca ..... antes ..... leve ..... moderado..... severo .....

### CLÍNICO / AMBIENTAL

Con qué frecuencia sufre Usted... (0-9)

- |                           |       |                 |       |
|---------------------------|-------|-----------------|-------|
| · tos                     | ..... | · irritabilidad | ..... |
| · dificultad respiratoria | ..... | · angustia      | ..... |
| · ardor en los ojos       | ..... | · rabia         | ..... |
| · congestión nasal        | ..... | · nerviosismo   | ..... |
| · estornudos              | ..... | · tristeza      | ..... |
| · garganta irritada       | ..... | · depresión     | ..... |
| · dolor de cabeza         | ..... | · desespero     | ..... |
| · voz afectada            | ..... | · agotamiento   | ..... |
| · gripa                   | ..... | · aburrimiento  | ..... |
| · asma                    | ..... | · pesimismo     | ..... |

9	-- siempre	7 v/sem
8	-- casi siempre	6 v/sem
7	-- muy frecuente	5 v/sem
6	-- frecuente	3 v/sem
5	-- algo frecuente	1 v/sem
4	-- poco	2 v/mes
3	-- muy poco	1 v/mes
2	-- ocasional	3 v/año
1	-- casi nunca	1 v/año
0	-- nunca	1 v/vida

Con qué frecuencia percibe Usted... (0-9)

- que el aire que le rodea está contaminado
- que los objetos del lugar están empolvados
- que los vidrios se opacan y oscurecen
- que los cuellos y las mangas de la ropa se ensucian
- que el suelo y los muros están ennegrecidos

### ANTROPOMÉTRICAS

peso ..... talla ..... carpo ..... abdomen ..... PAS.....  
 CV ..... VEF 1 ..... % VEF ..... FC ..... PAD.....

Qué tanto le afecta a Usted la contaminación del aire que lo rodea (0-5)

Qué tanto cree Usted que contaminan el aire (0-5)

- |                    |       |                     |       |
|--------------------|-------|---------------------|-------|
| · en la salud      | _____ | · las motos         | _____ |
| · en lo económico  | _____ | · los automóviles   | _____ |
| · en lo mental     | _____ | · los camiones      | _____ |
| · en lo familiar   | _____ | · los buses         | _____ |
| · en lo laboral    | _____ | · las fabricas      | _____ |
| · en lo recreativo | _____ | · los constructores | _____ |

5	muchísimo
4	mucho
3	termino medio
2	poco
1	muy poco
0	nada