

**“MATERIAL PARTICULADO EN EL AIRE Y SU CORRELACIÓN CON LA
FUNCIÓN PULMONAR EN PERSONAS QUE REALIZAN ACTIVIDAD FÍSICA EN LA
CICLORUTA EN LA LOCALIDAD KENNEDY EN BOGOTÁ: ESTUDIO
DESCRIPTIVO TRANSVERSAL”**

SERGIO LEONARDO CORTES GONZÁLEZ

FISIOTERAPEUTA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
MAESTRÍA EN FISIOTERAPIA DEL DEPORTE Y LA ACTIVIDAD FÍSICA
TRABAJO DE GRADO
BOGOTÁ, DIC.**

2018

**“MATERIAL PARTICULADO EN EL AIRE Y SU CORRELACIÓN CON LA
FUNCIÓN PULMONAR EN PERSONAS QUE REALIZAN ACTIVIDAD FÍSICA EN LA
CICLORUTA EN LA LOCALIDAD KENNEDY EN BOGOTÁ: ESTUDIO
DESCRIPTIVO TRANSVERSAL”**

SERGIO LEONARDO CORTES GONZÁLEZ

FISIOTERAPEUTA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Trabajo de grado para optar al título de

Magíster en fisioterapia del deporte y la actividad física

Director

Edgar deberá Hernández Álvarez

Codirector

William Fernando Benavides pinzón

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

MAESTRÍA EN FISIOTERAPIA DEL DEPORTE Y LA ACTIVIDAD FÍSICA

BOGOTÁ, DIC.

2018

I Resumen I

Antecedentes. Pese a los múltiples beneficios la práctica de actividad física al aire libre en las principales ciudades del mundo en escenarios como las ciclo rutas Bogotanas, se ha relacionado la exposición de los sujetos que se ejercitan en estos espacios con inhalar los contaminantes presentes en el aire ambiente, en especial el material particulado, lo que podría traer consecuencias desfavorables en la salud humana.

Objetivo. El objetivo de este estudio es determinar la correlación estadística entre los niveles de material particulado en el aire ambiente con los hallazgos en la función pulmonar de personas que realizan actividad física al aire libre usando bicicleta en la localidad Kennedy en Bogotá.

Materiales y métodos. Estudio descriptivo de corte transversal de 110 sujetos que se desplazan en bicicleta por la cicloruta de la localidad Kennedy en Bogotá. Los individuos fueron encuestados y seleccionados por ser ciclistas frecuentes sin antecedentes de enfermedades respiratorias ni ocupaciones asociadas con inhalación de material contaminante u otro agente que comprometiera su salud respiratoria. Para estudiar la función pulmonar se midieron volúmenes y capacidades pulmonares mediante espirometría forzada durante el reposo; también se describió el comportamiento del Material particulado en el ambiente PM10 y PM2.5 durante el tiempo de desarrollo del estudio y variables del uso de la bicicleta. Se seleccionó la ciclo ruta de la localidad de Kennedy por ser una de zonas de Bogotá con un histórico que muestra elevadas concentraciones de material contaminante y por tener una afluencia alta de ciclistas.

Resultados. Existe homogeneidad en la población respecto al uso de bicicleta, a la franja horaria de mayor uso, a la frecuencia semanal y al tiempo acumulado en meses. Respecto de la función pulmonar, 18 de las 110 espirometrías (16.36% de la muestra) presentaron un patrón diferente al normal siendo 17 sujetos un patrón restrictivo y 1 sujeto un patrón obstructivo. Luego del análisis de correspondencias existe en la muestra recolectada, una asociación estadística entre la función pulmonar con patrón no normal y la frecuencia de uso de la ciclo ruta ($p < 0.001$) por 6 a 7 días y con el tiempo de desplazamiento ida y vuelta ($p < 0.031$) para viajes entre 30 y 90 minutos. El análisis del comportamiento del material particulado PM2.5 y PM10 permite establecer que la franja horaria en la que se desplazan los ciclistas del estudio es la de mayor contaminación superando los límites establecidos por la OMS; respecto del material particulado durante la investigación sus valores promedio de concentración por hora superaron límites permitidos comprometiendo la calidad del aire.

Conclusiones. La práctica de ejercicio al aire libre en bicicleta en la ciclo ruta de la localidad Kennedy en Bogotá, expone a los ciclistas a niveles no permitidos de contaminación por material particulado durante el periodo de investigación, y se puede relacionar con alteración en la función pulmonar.

Palabras clave. Actividad física, calidad del aire, material particulado, función pulmonar.

.....

I Summary I

Background. Despite the multiple benefits of outdoor physical activity in major cities around the world in scenarios such as Bogotá cycle routes, has been related to the exposure of subjects who exercise in these spaces to inhale airborne pollutants environment, which could have unfavorable consequences on human health.

Objective. The objective of this study was to determine the statistical correlation between levels of particulate matter in the ambient air with changes in lung function in people who perform outdoor physical activity using bicycles in the Kennedy area in Bogotá.

Materials and methods. Descriptive cross-sectional study of 110 subjects who travel by bicycle through the bicycle route of the Kennedy area in Bogotá. The individuals were surveyed and selected because they were frequent cyclists with no history of respiratory diseases or occupations exposing them to inhaling chemical agents; To determine lung function, forced spirometry was performed on each one; A description was also made of the behavior of the particulate material present in the point of frequent displacement of the cyclists and the place of the shot. Kennedy was selected as the one whose air pollution levels were the highest in the city.

Results. There is homogeneity in the population with respect to the use of bicycles, the most used time slot, the weekly frequency and the accumulated time in months. 18 of the 110 spirometries (16.36% of the sample) had a different pattern than normal, with 17 subjects being a restrictive pattern and 1 subjecting an obstructive pattern. After the correspondence analysis, there is a statistical association in the sample collected between lung function with non-normal pattern and the frequency of use of the cycle route ($p < 0.001$) for 6 to 7 days and with the travel time and return ($p < 0.031$) for trips between 30 and 90 minutes. The analysis of the behavior of particulate material PM_{2.5} and PM₁₀ allows to establish that the time zone in which the cyclists of the study move is that of greater contamination exceeding the limits established by the WHO.

Conclusions. The practice of outdoor exercise may be related to impaired lung function in a group of non-smoking amateur cyclists in the Kennedy area of Bogotá, who travel in slots with a higher concentration of PM_{2.5} and PM₁₀

Keywords. Physical activity, air quality, particulate material, pulmonary function

Contenido

	Página.
Introducción	9
1. Planteamiento Del Problema.	15
1.1 Descripción de la problemática a estudiar.	15
1.2 Dimensión del problema.	16
1.3 Pregunta de investigación.	19
1.4 Términos Mesch.	20
2. Marco conceptual.	21
2.1 Antecedentes.	21
2.2 Justificación.	40
2.3 Objetivos.	42
2.3.1 <i>Objetivo general.</i>	42
2.3.2 <i>Objetivos Específicos.</i>	42
3. Marco teórico.	43
3.1 contaminantes del aire	43
3.1.1 <i>Contaminantes gaseosos.</i>	46
3.1.2 <i>contaminantes particulados</i>	47
3.2 Aspectos del contaminante	48
3.3 Contaminación del aire por material particulado.	49
3.4 Reglamentación del material particulado para Bogotá	56
3.4.1 <i>Datos del material particulado de la estación de monitoreo de Kennedy</i>	57
3.5 Efectos adversos de los contaminantes sobre la salud humana.	58
3.6 Material particulado del aire y su relación con la salud respiratoria.	60
3.7 La Función Pulmonar y su relación con la contaminación	64
3.7.1 <i>Definición del proceso de la respiración</i>	70
3.7.2 <i>Ventilación pulmonar</i>	71
3.7.3 <i>Trabajo respiratorio</i>	73
3.7.4 <i>Volúmenes y Capacidades pulmonares</i>	74
3.7.5 <i>Concepto de espirometría</i>	77
3.7.6 <i>Relación de la contaminación con la espirometría</i>	78
3.8 Mecanismos fisiopatológicos	80
3.9 Exposición a la contaminación del aire por ciclistas urbanos.	96
3.10 Datos referentes al uso de la bicicleta en Bogotá.	96
3.10.1 <i>Datos referentes al uso de la bicicleta en Kennedy.</i>	99
4. Métodos.	99
4.1 Diseño de la investigación	99
4.2 Población de estudio.	101
4.2.1 <i>Tamaño de muestra</i>	101
4.2.2 <i>Criterios de selección de los participantes</i>	102
4.2.3 <i>Criterios de inclusión.</i>	102
4.2.4 <i>Criterios de exclusión.</i>	103
4.2.5 <i>Criterios de inclusión de la espirometría.</i>	103
4.2.5 <i>Criterios de exclusión de la espirometría.</i>	104
4.3 Procedimiento	104
4.3.1 <i>Lugar de reclutamiento de la población</i>	105

4.3.2 Convocatoria de los sujetos.	105
4.3.3 Instrumento de selección de los participantes	105
4.3.4 firma del consentimiento informado	106
4.4 Procedimiento espirómetros.	107
4.4.1 Lugar del examen	107
4.4.2 Toma de la espirómetros	108
4.4.3 protocolo de la espirómetros	108
4.4.4 adiestramiento de los evaluadores en la Espirómetros	109
4.5 Análisis de resultados espirométricos.	109
4.5.1 Patrones espirométricos	111
4.5.2 Niveles de afectación	112
4.6 adiestramiento de evaluadores al cuestionario de selección.	113
5. Materiales.	115
5.1 Preparación y descripción de los equipos	116
5.2 Evaluación y recolección de datos del material particulado	117
5.3 Descripción de la estación de monitoreo de calidad del aire de Kennedy	120
6. Capítulo de consideraciones éticas	122
7. variables a analizar	121
7.1 variable independiente	124
7.2 variable dependiente	124
7.3 variable interviniente	124
7.4 definición de variables	127
8. Plan de análisis	129
9. Resultados y análisis descriptivo	130
9.1 Resultados de la Convocatoria	130
9.2 Características demográficas	132
9.3 Resultados del uso de la bicicleta	133
9.4 Resultados de la estación de monitoreo de calidad del aire de Kennedy	138
9.4.1 Resultados del PM10	139
9.4.2 Resultados del PM2.5	146
9.5 Resultados de la función pulmonar	153
9.5.1 Consolidado de resultados espirométricos	153
9.5.2 Resultados de las variables espirométricas.	154
9.5.3 Interpretación de resultados espirométricos.	161
10. Análisis de correspondencias	168
11. Discusión	174
12. Conclusiones	183
13. Recomendaciones	184
14. Limitaciones	185
15. Eventos adversos	186
16. propiedad intelectual	186
Referencias	189

Índice de Gráficos.

Grafico 1 Esquema de fuentes de contaminación de la atmosfera	42
Grafico 2 Esquema de volúmenes y capacidades pulmonares	72
Grafico 3 Perfil horario ciclo usuarios en Bogotá	90
Grafico 4 Distribución de ciclo usuarios por estrato socioeconómico	91
Grafico 5 principal motivo de uso de la bicicleta por ciclo usuarios	91
Grafico 6 Longitud de ciclorutas por localidades	92
Grafico 7 Esquema de selección de los participantes	123
Grafico 8 Tiempo de uso en meses de la bicicleta en la cicloruta por los participantes	126
Grafico 9 Frecuencia semanal de uso de la bicicleta en la cicloruta por los participantes.	127
Grafico 10 Tiempo total en minutos de uso diario de la bicicleta en la cicloruta por los participantes	128
Grafico 11 Franja horaria de uso de la bicicleta en la cicloruta por los participantes	129
Grafico 12. Promedios de PM10 por horas del día	135
Grafico 13. Promedios de PM10 por franjas horarias del cuestionario a participantes	138
Grafico 14. Promedios de PM2.5 por horas del día	142
Grafico 15. Promedios de PM10 por franjas horarias del cuestionario a participantes	144
Grafico 16. Comportamiento de la variable capacidad vital forzada (CVF)	149
Grafico 17. Comportamiento del volumen espiratorio forzado del 1 segundo (VEF1)	150
Grafico 18. Comportamiento de la relación CVF/ VEF1	151
Grafico 19. Comportamiento de la variable PEF	152
Grafico 20. Comportamiento del FEF2575	153
Grafico 21. Distribución de patrón espirométrico en toda la población en cuadrante de Miller	155
Grafico 22. Grupo espirómetrias con patrón normal y grupo con patrón no normal	156
Grafico 23. patrones espirométricos hallados	156
Grafico 24. Nivel de afectación hallado	158
Grafico 25. ClustETP de variables demográficas	160
Grafico 26. ClustETP demográficas por grupo espirómetrias con patrón normal y grupo con patrón no normal	161
Grafico 26. ClustETP tiempo de uso de la bicicleta por grupo espirómetrias con patrón normal y grupo con patrón no normal	162
Grafico 27: ClustETP frecuencia de uso de la bicicleta por grupo espirómetrias con patrón normal y grupo con patrón no normal	163
Grafico 28. ClustETP tiempo de desplazamiento por grupo espirómetrias con patrón normal y grupo con patrón no normal	164

Índice de Tablas.

Tabla 1. Características del material particulado	48
Tabla 2. Límites establecidos por la OMS para material particulado	49
Tabla 3. Comparación de las características entre partículas finas y gruesas	52
Tabla 4. Índice bogotano de calidad del aire IBOCA	53
Tabla 5. Efectos adversos de los contaminantes sobre el sistema respiratorio	58
Tabla 6. Efectos no respiratorios de los contaminantes atmosféricos	60
Tabla 7 Volumen diario de viajes por cicloruta	92
Tabla 8. Clasificación de gravedad según los resultados espirométricos	108
Tabla 9. Características estación de calidad del aire Kennedy	113
Tabla 10. Definición de variables	118
Tabla 11. Características demográficas	124
Tabla 12. Promedios de medición de la estación de calidad del aire de Kennedy durante la investigación	130
Tabla 13. Escala de colores por rangos de concentración de PM10	132
Tabla 14. Comportamiento promedio semanal de las concentraciones en aire de PM10	133
Tabla 15. Comportamiento del PM10 por franjas horarias.	136
Tabla 16. Escala de colores por rangos de concentración de PM2.5	139
Tabla 17. Comportamiento promedio semanal de las concentraciones en aire de PM 2.5	139
Tabla 18. Comportamiento del PM2.5 por franjas horarias.	143
Tabla 19. Comportamiento variables espirométricas.	147
Tabla 20. Comportamiento promedio de las variables espirométricas en porcentajes para cada grupo por patrón	159

Índice de figuras.

Figura 1. Partículas Y Su Dinámica Atmosférica	51
Figura 2. Promedios anuales de PM2.5 para el año 2016	55
Figura 3. Promedios anuales de PM 10 para el año 2016	56
Figura 4. Partículas Y Su lugar de acción en el cuerpo humano	64
Figura 5. Estimación de la cadena de eventos del MP depositado en las vías respiratorias	83
Figura 6. Fisiopatología potencial y efectos para la salud cardiopulmonar por exposición al MP	86
Figura 7. Representación teórica de los posibles efectos de las PM10 al ser inhaladas	87
Figura 8. Algoritmo de interpretación de la espirimetría	107
Figura 9. Estación de monitoreo de calidad del aire Kennedy	113

Agradecimientos

Quiero agradecer en primer lugar a Dios que me hablado durante toda mi vida con hechos que prueban su inmenso amor por mí, y me ha enseñado que el como buen padre premia la constancia en los momentos difíciles y la humildad en los momentos de éxitos.

También quiero agradecer a mi esposa amada quien ha sido mi fortaleza, mi apoyo y mi mayor motivación, gracias te doy por haber creído en mí siempre.

En segundo lugar, quiero agradecer a mi Director de trabajo de grado el profesor Edgar Hernández por su inmensa dedicación y paciencia con todos nosotros su alumnos y porque gracias a su nivel de exigencia podemos enriquecer nuestro aprendizaje.

También quiero agradecer a mi co – director el Profesor William Benavidez por su dedicación, colaboración y por demostrar siempre su gusto por enseñarnos y su preocupación por que nosotros sus alumnos aprendamos.

Finalmente, quiero agradecer a la Universidad Nacional De Colombia, a la maestría en fisioterapia del deporte y la actividad física y al departamento del movimiento corporal humano por la gran calidad y exigencia académica en la formación de sus profesionales.

Introducción

Actualmente la actividad física se asocia como uno de los factores protectores frente a los problemas de salud ligados al sedentarismo. La inclusión de la actividad física en políticas, planes de desarrollo y en propuestas de prevención de diversas enfermedades, así como alternativa de transporte es implementada en múltiples capitales del mundo. En Colombia, **la Ley 181 de 1995**, en su artículo 3º, numeral 5, dispone como uno de los objetivos del Estado garantizar el acceso de las personas a la práctica del deporte y la recreación, **fomentar la creación de espacios que faciliten la actividad física**, el deporte y la recreación como hábito de salud y mejoramiento de la calidad de vida y el bienestar social; En la ciudad de Bogotá, uno de los espacios destinados para la ejecución de la actividad física se relaciona con la construcción de ciclo rutas que buscan incentivar el uso de bicicleta en las comunidades. La idea con la implementación de estos espacios, es aprovechar los beneficios que la actividad física tiene en la salud pública. El enfoque en la promoción del uso de la bicicleta además contribuye como una de las soluciones respecto a los problemas de movilidad urbana asociados a medios de transporte en la ciudad, e incluso aporta en mejoras de impacto ambiental por tratarse de un “medio de transporte sano, ecológico, sostenible y económico” Hilario, Núñez y Paniagua (2015) pretendiendo disminuir el número de vehículos de motor con esta iniciativa. La promoción del uso de la bicicleta se establece además, en la ley **18 11 de 2016** la cual tiene por objeto “incentivar el uso de la bicicleta como medio principal de transporte en todo el territorio nacional; incrementar el número de viajes en bicicleta, avanzar en la mitigación del impacto ambiental que produce el tránsito automotor y mejorar la movilidad urbana”.

“la ciudad de Bogotá se ha destacado por ser la principal ciudad en Colombia y una de las principales en Latinoamérica en promover la construcción de ciclo rutas y bici carriles, para

garantizar la movilidad de usuarios de bicicleta en adecuadas condiciones de seguridad y comodidad” secretaria distrital de movilidad (2016). Las ciclo rutas hacen parte del espacio público y son escenarios construidos al aire libre en donde se realiza actividad física. Según el “Reporte anual de movilidad 2014” Bogotá cuenta con “392 kilómetros de ciclo rutas construidas y 13 km de bici carril, con tiempos de viaje promedio de 25 minutos en este medio de transporte”. En consecuencia, el uso de la bicicleta cada día toma mayor número de usuarios en la capital. “La participación de viajes en modo bicicleta es cada vez mayor, así lo demuestran los 784.502 viajes diarios en bicicleta estimados, según la encuesta de movilidad 2015, para Bogotá y 17 municipios vecinos, de los cuales aproximadamente el 70%, equivalentes a 575.356 viajes, tienen origen en la ciudad de Bogotá y que comparados con los existentes en 2011 de 441.135 viajes, representan un incremento del 24%. En 4 años” secretaria distrital de movilidad (2016). Lo anterior permite inferir un aumento en la actividad física al aire libre en los años referenciados.

Sin embargo, las prácticas de actividad física en entornos urbanos al aire libre similares al uso de bicicleta en la ciclo ruta Bogotana han despertado interés en la investigación y han sido estudiadas. Los Investigadores Kesavachandran, Kamal, Bihari, Pathak, y Singh (2015), y Ramos, Vasconcelos y Faria (2015), entre otros, coinciden en sus estudios en que pese a los múltiples beneficios de la práctica de actividad física para la salud humana, desarrollarla en espacios al aire libre en las ciudades puede ocasionar riesgos para la salud respiratoria de los individuos que la realizan; Giles y Kohele (2014) refiere: “Muchas de las formas más accesibles de ejercicio, como caminar, andar en bicicleta y correr a menudo ocurren al aire libre. Esto significa que hacer ejercicio en estas condiciones puede aumentar la exposición a la contaminación del aire urbano”; por lo anterior, estos autores refieren que dada la cercanía de estos escenarios a las industrias y al tránsito de vehículos motorizados, las personas que realizan actividad física en estos espacios se

exponen a la inhalación de contaminantes del aire tales como el material particulado; sin embargo, en el caso Bogotá las ciclo rutas se encuentran a escasos metros de las principales vías para los Automotores, por lo cual, los desplazamientos de las personas en bicicleta podría exponerlos a la inhalación de diversos contaminantes que pueden tener consecuencias indeseables en el sistema respiratorio. Ingle et al. (2005), refiere que el tránsito vial produce compuestos orgánicos volátiles, partículas en suspensión, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono, lo que tiene efectos adversos sobre la salud de la población expuesta.

Así mismo, el autor Samek (2016) refiere en su investigación que diferentes partículas presentes en el ambiente como los son materiales particulados (especialmente aquellos cuyo diámetro es menor a 2.5 μm), monóxido de carbono, ozono, entre otras, han mostrado tener una influencia directa sobre importantes procesos fisiológicos como la función pulmonar. Para este autor, estos efectos han sido relacionados con modificaciones de los volúmenes pulmonares. Las investigaciones de Samek (2016), Kesavachandran, Kamal, Bihari, Pathak, y Singh (2015), y Ramos, Vasconcelos y Faria (2015), entre otros, apoyan la idea de que existe evidencia que indica la relación entre la exposición a contaminantes ambientales y la posibilidad de desencadenar enfermedades respiratorias, aún en personas sin factor de riesgo asociado.

Adicionalmente, la exposición de peatones a la contaminación del aire en vías con alto tráfico vehicular se refleja en investigaciones como la realizada por Segura y Franco (2016) en donde se afirma: “la importancia de involucrar la variable calidad del aire al momento de diseñar infraestructura orientada a modos de transporte no motorizado” esto comprendido en el contexto que el aire de la ciudad (Bogotá) contiene contaminantes que superan los límites establecidos. De los diferentes contaminantes presentes en el aire ambiente de las ciudades autores como Chandrasekharan *et al.* (2015) y Oyarzún M, (2008) entre otros, coinciden en afirmar que el

material particulado es el que afecta la salud respiratoria de los sujetos que se exponen a estos ambientes.

En consecuencia, Los motivos anteriormente expuestos motivaron la generación del presente proyecto cuyo objetivo principal es evaluar si existe correlación estadística entre la inhalación de aire contaminado específicamente el material particulado y la función pulmonar medida con Espirómetros, cuando se realiza actividad física al aire libre en las ciclo rutas de Bogotá desplazándose en bicicleta, de este modo se pretende ampliar la evidencia y el panorama frente a la actividad física al aire libre.

Por lo tanto, Se propone desarrollar un estudio descriptivo transversal de correlación evaluando la función pulmonar y determinando el comportamiento de las variables espirométricas y con ello establecer si existe un patrón obstructivo, restrictivo, o normal respiratorio, en aquellos sujetos adultos que hacen uso de la bicicleta de manera frecuente en una de las ciclo rutas de la ciudad, en la localidad Kennedy. Se selecciona esta localidad teniendo en cuenta que es considerada en “Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2011 – 2015” la localidad con el aire más contaminado de la ciudad; además, se pretende realizar la medición directa en el sitio de la exposición, recolectando la información con la que se estime la frecuencia del uso semanal de la bicicleta en estos escenarios; ahora bien, los datos obtenidos se correlacionaran estadísticamente con los reportes simultáneos de la estación de monitoreo de calidad del aire correspondiente a la zona Kennedy, que se encuentra cercana al sitio de aplicación de la prueba, presentados por la secretaria distrital de ambiente de Bogotá; esta estación entrega la medida exacta del comportamiento del material particulado en las diferentes franjas horarias en la localidad.

Finalmente, La importancia de este trabajo de investigación radica en la posibilidad de correlacionar los variables espirométricas con la exposición a materiales contaminantes presentes en el aire ambiente de la ciudad de Bogotá, específicamente en la localidad de Kennedy, lo cual podría orientar un primer panorama de la salud respiratoria de los ciclousuarios, y sus resultados pueden utilizarse para promover el desarrollo de estrategias de prevención y control frente a la práctica de actividad física habitual en ambientes al aire libre y dar paso además, a planteamientos de nuevas investigaciones.

1. Planteamiento Del Problema

1.1 Descripción de la problemática a estudiar.

La Organización Mundial de la Salud realiza las recomendaciones para calidad del aire partiendo de la afirmación, que la contaminación atmosférica urbana causa en todo el mundo 1,3 millones de muertes prematuras al año, afectándose de manera desproporcionada a quienes viven en países de economías en desarrollo (OMS, 2011). Conscientes de esta problemática, las autoridades ambientales de países en todo el mundo vienen desarrollando estrategias para el control de la contaminación del aire y la mitigación de su impacto en la salud de las personas.

Conforme a estos lineamientos, en el caso de la ciudad de Bogotá, la secretaria distrital de ambiente y la secretaria distrital de salud establecen en la **resolución conjunta 2410 de Diciembre 11 2015** “el Índice Bogotano de Calidad del Aire –IBOCA– para la definición de niveles de prevención, alerta o emergencia por contaminación atmosférica en Bogotá D.C”. Este índice que opera como indicador para la gestión y articulación de las acciones conjuntas entre los sectores de ambiente y salud, es mencionando en el **artículo 2 de la resolución** con el propósito de “proteger la salud humana y controlar las fuentes de emisión que generan dicha situación”, siendo

determinado en las mediciones realizadas por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB– que está conformada como se describe por “13 estaciones fijas de monitoreo y una estación móvil, ubicadas en diferentes sitios de la ciudad, dotadas con equipos de alta tecnología que permiten realizar un monitoreo automático y continuo de las concentraciones de material particulado (PM10, PST, PM2.5), de gases contaminantes (SO2, NO2, CO, O3) y de las variables meteorológicas de precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica”. Una vez se realizan las respectivas mediciones la calidad del aire y el riesgo para la salud de las comunidades, la resolución basada en los estándares de la OMS fija los niveles permitidos por contaminante del aire. Estos análisis por cada estación fueron recopilados y resumidos en el *Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2011 – 2015* en el cual se establece que los niveles de contaminación del aire en la ciudad de Bogotá superan los límites permitidos en determinadas franjas horarias siendo la localidad de Kennedy la que presenta mayor contaminación del aire, especialmente en lo que involucra al material particulado. Cabe resaltar que en la localidad se encuentran 2 estaciones fijas de medición una de ellas a tan solo 15 metros de la ciclo ruta por la que se desplazan las personas que realizan actividad física en ella.

Además, Franco, Ariza y Sánchez (2013), refieren: “La condición de la calidad del aire en Bogotá ha sido diagnosticada de manera continua desde 1997, gracias a la operación de una moderna Red de Monitoreo operada por la autoridad ambiental local (Secretaría Distrital de Ambiente). Según los registros de dicha Red, el contaminante que por sus altas concentraciones se presenta como el más crítico para la calidad del aire de la ciudad es el **material particulado respirable**” según este autor, citando al informe anual de calidad del aire en Bogotá “las cantidades

reportadas respecto a las concentraciones anuales de material particulado fueron superiores a los niveles máximos permitidos establecidos por la normativa nacional” En ese orden de ideas tenemos que la información proporcionada por la Red de Monitoreo de calidad del aire indica que existen zonas de la ciudad y franjas horarias en donde el problema de contaminación atmosférica es mayor, en el mismo estudio se refiere que “las zonas centro y suroccidental de Bogotá representan los lugares geográficos con mayores niveles anuales de contaminación por material particulado” en esta investigación, se definieron las 4 localidades en las que se presentó mayor índice de contaminación, las cuales fueron Fontibón, Puente Aranda, Tunjuelito y Kennedy, coincidiendo con el Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2011 – 2015 mencionado anteriormente.

Esta situación, es reportada por La organización panamericana de salud OPS, en su documento de *Evaluación de los efectos de la contaminación del aire en la salud de América Latina y el Caribe (2005)*. En este documento se menciona que la condición de calidad de aire de Bogotá ha generado que la ciudad sea catalogada como uno de los centros urbanos con mayor contaminación atmosférica en Latinoamérica. Franco *et al.* (2013) refiere citando a (SDS, 2010): “Esta situación hoy es prioritaria para las autoridades locales si se entiende que las enfermedades respiratorias son la principal causa de morbilidad y mortalidad para niños menores de 5 años de edad, así como una de las 5 primeras causas para la totalidad de la población bogotana”

Por otro lado, otras investigaciones como Matt et al. (2016), Segura y Franco (2016), y Chandrasekharan et al. (2015), coinciden en sus afirmaciones cuando refieren que la actividad física genera múltiples beneficios para la salud de las personas, sin embargo, realizar ejercicio físico o actividad física al aire libre o expuesto a los contaminantes del aire ambiente urbano, puede generar riesgos en la salud respiratoria; Samek (2016) refiere en su investigación que

diferentes partículas presentes en el ambiente como los son materiales particulados (especialmente aquellos cuyo diámetro es menor a 2.5 μm), monóxido de carbono, ozono, entre otras, han mostrado tener una influencia directa sobre **la función pulmonar**; en consecuencia, se infiere que Bogotá reúne las dos ideas mencionadas, por un lado la promoción de actividad física al aire libre en la ciudad con escenarios como las ciclo rutas y por otro un aire contaminado por material particulado; Franco *et al.* (2016). refiere que lo encontrado en la caracterización del aire en Bogotá en su investigación constituye riesgo para los ciclistas Urbanos.

1.2 Dimensión del problema.

Las cifras reportadas por el Banco Interamericano de Desarrollo en su guía *ciclo-inclusión en américa latina y del caribe, guía para impulsar el uso de la bicicleta (2015)*, indican para Bogotá (entre otros datos), un número de viajes en bicicleta reportados por día, correspondientes a **611.472** instaurados dentro de **392** Kilómetros de infraestructura vial dispuesta en la ciclo rutas, convirtiendo esta ciudad en una de las principales impulsadoras de esta práctica de actividad física. Así mismo, Incentivar el uso de la bicicleta respecto a las razones de impacto ambiental nos indica que “Un viaje de ida y vuelta en bicicleta de 6.5 kilómetros, libera el aire que respiramos de 7 kg de contaminantes, según el World Watch Institute” (Secretaria distrital de movilidad, 2016, p.13) sin embargo, “Aunque el uso de la bicicleta viene en crecimiento al interior de la ciudad, este modo de transporte sigue siendo minoritario respecto a otros modos de transporte, por lo cual se convierte en un fenómeno de baja frecuencia y por tanto de posible baja observación” (Secretaria distrital de movilidad, 2016, p.8). Lo anterior nos lleva a pensar que la población que se desplaza en la bicicleta realiza actividad física al aire libre expuestos a las características del aire de la ciudad. Weichenthal et al (2011), refiere que el ciclismo a menudo se promueve como un medio para reducir la congestión del tráfico y la contaminación del aire en áreas urbanas. El autor

menciona además que incluso reducciones modestas en los niveles de contaminación del aire como resultado de un cambio de automóviles a bicicletas puede tener importantes beneficios de salud pública. Sin embargo, Weichenthal et al (2011) coincide con Panis *et al.* (2010), en cuanto a que la cercanía de los ciclistas a las vías en entornos urbanos, puede estar exponiendo a estos sujetos a mayores niveles de contaminación del aire al entrar en contacto con las emisiones de los vehículos; por su parte Larsen (2004) afirma que el costo promedio anual de la contaminación del aire con respecto a la salud en Colombia fue de casi el 1% del PIB nacional, indica que el 65% está asociado con la mortalidad y el 35% con la morbilidad. Además este autor menciona que más de 1.2 millones de vehículos circulan en Bogotá, representando la fuente principal de emisión atmosférica (70%), lo que conlleva a más de 2,200 toneladas de material particulado (PM10) y otros contaminantes que se producen anualmente

A su vez, Franco *et al.* (2016). refiere que lo encontrado en la caracterización del aire en Bogotá en su investigación constituye riesgo para los ciclistas por la inhalación del aire contaminado, en los resultados de su análisis, la proximidad de los bici-senderos a la calle indican que la concentraciones de contaminantes atmosféricos a los que están expuestos los ciclistas son elevados y altamente influenciado por las emisiones vehiculares, coincidiendo con, Fajardo y Rojas (2012) cuando refieren en su investigación índices riesgosos de contaminación del aire en un tramo de la ciclo ruta en la calle 80 en Bogotá. En conclusión, Si consideramos el número de viajes con lo referido de los anteriores autores, Podemos inferir que en los 611.472 viajes reportados respecto a los desplazamientos en bicicleta por las ciclo rutas puede existir la exposición a la inhalación del aire contaminado en la ciudad y que el riesgo podría ser mayor en los sitios más contaminados.

La evidencia y descripción de la problemática de la presente investigación sugiere niveles de contaminación riesgosos para la salud respiratoria de los bogotanos; la exposición a contaminantes del aire se infiere será mayor en las localidades cuyos límites superen los permitidos. Por tanto, se estima que quienes realizan actividad física en las ciclo rutas, dada la cercanía del escenario con los principales agentes que aportan estos contaminantes los cuales son los vehículos de motor, esta condición de ejercicio al aire libre los expone a inhalar un aire contaminado; la correlación de esta variable podría aportar nuevos conocimientos acerca de la salud respiratoria de esta población.

Se debe resaltar que los efectos adversos respiratorios dependen de la concentración del contaminante y la duración a la exposición y claro está, de la condición inherente a cada individuo. Para Oyarzun M, (2008) el aumento de la ventilación minuto conlleva a mayor inhalación de aire contaminado y por tanto mayor exposición, este autor refiere que “Entre los factores que aumentan la ventilación, elevando la carga de contaminantes que recibe el pulmón, destaca el aumento de la temperatura y humedad que dificultan la termólisis, el aumento de la altitud, que lleva a la disminución de **la presión inspirada de O₂** y **por ende a hipoxemia hipobárica**, el aumento de la progesterona (en el embarazo), estados febriles y **el ejercicio físico**” la afirmación anterior permite establecer que sujetos que realicen ejercicio físico o actividad física que genere un aumento de la frecuencia respiratoria como lo son los ejercicios aeróbicos (por ejemplo el uso de la bicicleta) se verán más expuestos a los contaminantes del aire y pueden presentar los efectos agudos y crónicos sobre su salud respiratoria; este autor refiere que para el material particulado los efectos a corto plazo se asocian con:

- Aumento de morbilidad respiratoria
- **Disminución en la función pulmonar**

- Interferencia en mecanismos de defensa pulmonar: fagocitosis y depuración mucociliar
- Síndrome bronquial obstructivo

Y nos menciona además, los efectos crónicos de la exposición

- Menor desarrollo de la estructura y función del sistema respiratorio
- Mayor riesgo de cáncer en la edad adulta
- Diferentes fenotipos de EPOC, Asma Bronquial, cáncer de vías aéreas y el incremento de co-morbilidad cardiovascular

1.3 Pregunta de investigación.

Para el desarrollo de la presente investigación se plantea la siguiente pregunta de investigación:
¿Cuál es la correlación del material particulado en el aire ambiente con los resultados en la función pulmonar en personas que realizan actividad física al aire libre usando bicicleta en la localidad Kennedy en Bogotá?

1.4 términos Mesh y DeCS.

Para efectos del presente estudio se utilizaron los términos Mesh y DeSC expuestos en la siguiente tabla 1; la evidencia respecto al tema de este estudio fue consultada en las bases de datos Pub Med, Science direct, Medline, Cochrane, Bireme, y las revistas de salud pública de la Universidad Nacional De Colombia, Javeriana y Andes.

Tabla 1:
Términos Mesch y DeCS

TERMINO	DEFINICIÓN
Physical Activity	Actividad física que generalmente es regular y se realiza con la intención de mejorar o mantener la aptitud física o la salud. Contraste con el ejercicio físico que se ocupa principalmente de la respuesta fisiológica y metabólica al gasto de energía.
Air Quality	Propiedad que permite identificar las condiciones atmosféricas, teniendo en cuenta los niveles actuales de contaminación y la salud, el bienestar y la seguridad de las personas.
Particulate Material	Partículas de cualquier sustancia sólida, generalmente de tamaño inferior a 30 micras, que suelen denominarse pm30. existe una especial preocupación con las pm1 porque pueden alcanzar los alveolos pulmonares e inducir activación de los macrófagos y fagocitosis, lo que lleva a producir una reacción de cuerpo extraño y enfermedades pulmonares
Atmospheric Pollutants	Cualquier sustancia en el aire que puede, si presente en concentración suficientemente alta, causar daño en seres humanos, animales, vegetación o material. entre las sustancias incluidas están los gases; material particulado; y compuestos orgánicos volátiles
Pulmonary function	Medición de los diversos procesos involucrados en el acto de la respiración: inspiración, espiración, intercambio de oxígeno y dióxido de carbono, volumen pulmonar y cumplimiento, etc.
Spirometry	Medida del volumen de aire inhalado o exhalado por el pulmón

Nota. se presentan los términos de investigación y búsqueda de evidencia científica.

2. Marco conceptual.

Antecedentes.

Diversos autores han planteado que puede existir relación entre la exposición a los contaminantes del aire como el material particulado y la salud humana en especial, la salud respiratoria. Korrick et al. (1999). Llevan a cabo una investigación en la cual pretenden evaluar La función pulmonar pre y post en un grupo de excursionistas que visitan el monte Washington como actividad recreativa y actividad física al aire libre. Los autores afirman que las áreas industriales y urbanas del centro y noreste de los Estados Unidos producen niveles episódicamente altos de ozono en el monte así como niveles de material particulado 2.5 μm que superan los indicadores de calidad del aire. Cada participante dentro de este estudio, fue evaluado por Espirómetros simple y realizó un mínimo de tres y un máximo de ocho maniobras espiratorias forzadas antes de la caminata del día y nuevamente después de regresar a la base. Los sujetos fueron evaluados, mientras estaban sentados y usando pinzas para la nariz, con un espirómetro Morgan Spiroflow de 12 litros (P.K. Morgan, Andover, MA) conectado a una computadora personal con software personalizado. Los voluntarios seleccionados eran adultos (18-65 años de edad), los valores medios para el volumen espiratorio forzado en 1 segundo (FEV 1) y la capacidad vital forzada (FVC) fueron registrados de los dos o tres mejores valores aceptables y reproducibles de la Espirometría. Los resultados del estudio sugieren que una fracción sustancialmente aumentada de la población que realizó ejercicio en el monte tuvo disminuciones significativas en función pulmonar, menor al 10% en FEF25, FEV 1 y FVC. Los investigadores concluyen que el gran número de visitantes que participan realizando ejercicio al aire libre en esta área, está en riesgo de efectos agudos para la salud relacionados con la exposición a la contaminación ambiental por material particulado y ozono. Afirman que, Incluso sin considerar las diferencias en la

susceptibilidad individual, las estimaciones del efecto observado son notables por haber ocurrido entre los excursionistas.

Carlisle y Sharp (2002) Realizan una revisión de la literatura en donde su tema principal es el ejercicio al aire libre en ambientes urbanos del reino unido. Los autores plantean como objetivos de su revisión, establecer si los atletas al aire libre están especialmente en riesgo de padecer problemas de salud asociados a la inhalación del aire urbano. Dentro del desarrollo de su estudio, se evalúan seis principales contaminantes del aire, el monóxido de carbono (CO); los óxidos de nitrógeno (NOX); ozono (O3); material particulado (PM10); dióxido de azufre (SO2); y compuestos orgánicos volátiles. Se resalta en el texto que Aunque es lógico estudiar los contaminantes del aire por separado y es común que se haga en diversas investigaciones, los contaminantes del aire ambiente no existen en aislamiento; constituyen un cóctel y sinergismo químico que puede aumentar su peligrosidad para la salud humana. Lo interesante de los argumentos expuestos en esta publicación, tienen que ver con los tres mecanismos que refieren los autores por los cuales hacer ejercicio al aire libre, especialmente ejercicios de tipo aeróbico en donde se encuentra el uso de la bicicleta, aumentan el riesgo de inhalar contaminantes suspendidos en el aire:

- ❖ En primer lugar, hay un aumento en la cantidad de contaminantes inhalados por los aumentos en la ventilación minuto que se genera al realizar ejercicio.
- ❖ En segundo lugar, al realizar ejercicio, una fracción más grande de aire se respira por la boca, evitando efectivamente los mecanismos normales para la filtración de partículas grandes y vapores solubles dispuestos en la cavidad nasal.

- ❖ En tercer lugar, la capacidad difusión pulmonar refiere el autor, está demostrada que aumenta con el ejercicio; por lo tanto, en la revisión de la literatura afirman que se puede postular la idea que la difusión de gases contaminantes aumenta con ejercicio, incluso durante varios días después.

Parte de los anteriores argumentos se basan según refieren, en que la eliminación mucociliar nasal ha sido demostrado que está afectado en corredores de larga distancia, y esto es posiblemente atribuible a la exposición a la contaminación del aire. Finalmente la investigación concluye, que atletas y deportistas deben evitar hacer ejercicio cercano a las carreteras, incluso si los niveles del aire se encuentran en rangos permitidos, ya que la exposición a material particulado y demás contaminantes del aire, de personas que se ejercitan en la carretera en la ciudad es más alto que el de la persona sedentaria y los que se ejercitan en lugares rurales.

Campbell, Li, Gingrich, Macfarlane y Cheng (2005), determinaron en su estudio las franjas horarias durante el día en los que los niveles de contaminación del aire tienden a ser más bajos y más altos. Esto con el fin, de desarrollar una estrategia informativa para las personas que realizan actividad física al aire libre de tal modo, que esta población pueda modificar el horario de la actividad en consecuencia a la contaminación presentada en la ciudad de Toronto, en Canadá. Para tal fin, analizaron los datos existentes de contaminación atmosférica determinando la variación en los niveles de contaminantes del aire hora a hora a lo largo de cada día. Una vez realizado este análisis los autores describen el comportamiento de los contaminantes, refiriendo, que la concentración más alta coincide con la hora “pico” de la mañana, hora de alta movilización de vehículos automotores. La conclusión de los investigadores tiene que ver con que se debe alentar a las personas a mantener una actividad física al aire libre regular mientras monitorea cualquier síntoma en la salud relacionado con la contaminación del aire. Sin embargo, las personas deben

conocer las franjas horarias de menor contaminación y de este modo usarlas preferiblemente para desarrollar la actividad física. Advirtiéndolo del hecho, que la actividad física al aire libre debe reducirse, o deben reemplazarse con ejercicio en interiores, en aquellas condiciones en las que la calidad del aire supere los niveles establecidos o cuando se sienta que la inhalación del aire desencadena síntomas individuales, además, preferir áreas de poco tráfico vehicular. Los valores que el artículo sugiere no debe superar el promedio establecido de 50 μm por metro cubico para el material particulado.

Ingle et al. (2005), realizan una investigación en los principales cruces de cuatro carreteras de la ciudad de Jalgaon en la India, comparando sintomatología respiratoria y pruebas de función pulmonar obtenidas en 60 policías de tránsito (grupo experimental) y 60 adultos jóvenes sanos (grupo control). Los autores mencionan que realizaron el monitoreo de la calidad del aire ambiental de esta zona entre mayo de 2003 y abril de 2004 definiendo que los cruces viales analizados eran los puntos más contaminados de la ciudad, superando en estos puntos los límites establecidos de calidad de aire. Así mismo, determinaron que la jornada laboral al aire libre de los agentes de tránsito incluía las franjas horarias de mayores niveles de contaminación del aire, por lo cual este grupo de sujetos estaba expuesto constantemente a un aire contaminado perjudicial para la salud. Los autores presentan el análisis del cuestionario aplicado acerca de sintomatología respiratoria a la población del estudio, obteniendo que el 40% de los policías de tránsito sufren de tos frecuente, el 10% de dificultad para respirar y el 29% de irritación en las vías respiratorias. Los datos sobre la duración del servicio al aire libre muestran que el 67% de los policías están vinculados a esta labor durante más de 10 años; estos resultados comparados con el grupo de control, muestra que para estos sujetos tan solo el 18% sufría tos frecuente, el 08% disnea y el 05% irritación en el tracto respiratorio.

El anterior artículo de Ingle et al. (2005), también presenta los resultados en la función pulmonar evaluada con espirometría. El análisis espirométrico de los policías de tránsito muestra una variación significativa en la Tasa de flujo espiratorio máximo (PEFR), el Volumen espiratorio forzado en un segundo (VEF1) y la Capacidad vital forzada (CVF); en esta investigación, la prueba de función pulmonar compara los valores esperados para las variables espirométricas, obtenidos por ecuaciones teóricas y los observados obtenidos con la prueba de función pulmonar individual realizada en los grupos. En los resultados Ingle et al. (2005), Refieren que la CVF en los policías de tránsito era (3.03 L) menor que el valor esperado (3.70 L); La CVF promedio en policías de tránsito fue del **82%** respecto del valor esperado; Por otro lado, en el grupo de control, la CVF observada fue (3,18 l), muy cerca de la teórica (3,19 l) obteniendo un promedio del grupo de control **99%** del valor esperado, superior al grupo experimental. Posteriormente, el estudio nos presenta la tasa de flujo espiratorio máximo (PEFR). Esta variable es la que se aprecia más afectada para el grupo de la policía de tráfico, en donde se obtiene un promedio de 66% del valor esperado; El PEFR observado fue 6.05 L / s, que es menor del teórico 9.21 L / s. mientras que, en el grupo control, el PEFR observado fue de 5.54 L / s, que estaba más cerca de los 6.11 L / s teórico, lo que significa que fue 92% del valor esperado para estos sujetos.

Así mismo, El VEF1 observado en los policías de tráfico fue de 2.27 L, y en el grupo de control fue de 2.81L. Lo que se traduce para los policías de tráfico en un 73% del valor esperado y en el grupo de control fue el 118% del valor esperado. El anterior estudio concluye que los datos obtenidos muestran una importante insuficiencia respiratoria en los policías de tráfico debido a la exposición a la contaminación vehicular. Los autores sugieren que el uso obligatorio del equipo de protección personal (máscara nasal) por parte de la policía de tráfico durante las horas de servicio podría ayudar a la protección contra la contaminación del aire.

Por su parte, Medina R., Zanobetti A., Y Schwartz J. (2006) encuentran en su investigación relación entre el aumento del PM y el número de ingresos hospitalarios por enfermedades respiratorias. Para ello, desarrollaron un estudio de casos cruzados en 36 ciudades de EE. UU, para evaluar el efecto del ozono y el material particulado aerodinámico de diámetro $10\ \mu\text{m}$ (PM10) sobre las admisiones respiratorias hospitalarias, en el periodo comprendido entre 1986-1999. Los autores refieren que la contaminación del aire se ha asociado con entradas a consultas de salud para enfermedades respiratorias en ciudades de todo el mundo. En su investigación, los ingresos hospitalarios respiratorios y los datos de contaminación del aire fueron cruzados estadísticamente por medio de un modelo de regresión logística condicional; En la primera etapa de los análisis, se estableció la asociación entre la exposición a la contaminación del aire y los ingresos hospitalarios con los registros diarios y anuales de PM10 y ozono en aquellas ciudades que tenían base de datos de estas variables, obtenidas por redes de monitoreo de calidad del aire. El estudio confirmó, en una gran muestra de ciudades, que la exposición al ozono y PM10 está asociada a las admisiones respiratorias en el hospital, las admisiones a los centros de salud por enfermedad obstructiva crónica (EPOC) se asociaron con exposición a PM10 el día anterior (1.47% de aumento de las consultas por cada aumento de $10\ \text{mg} / \text{m}^3$ en PM10), mientras que los ingresos por neumonía se asociaron con la exposición a PM10 en el mismo día de exposición (aumento del 0,84% para cada Aumento de $10\ \text{mg} / \text{m}^3$ en PM10). El estudio concluye que la contaminación del aire genera efectos indeseados para la salud respiratoria de los sujetos que se exponen a ella.

Otros estudios como Rundell y Caviston (2008), establecen relación entre la exposición al aire contaminado y el rendimiento físico. Estos autores plantean un diseño experimental en el cual

tratan de establecer si el material particulado ultra fino, (con diámetro aerodinámico 0.02-1 μm), al ser inhalado disminuye el rendimiento del ejercicio en sujetos saludables. Para ello recrean un ambiente contaminado utilizando un motor diésel refiriendo que se ha demostrado que este tamaño del material particulado representa el 90% del conteo total de partículas y que el 95% es derivado de la combustión de los motores. Una vez recreada esta condición del aire, por medio de un dispositivo y un software se mantiene el conteo de las partículas mientras se someten a 15 adultos jóvenes jugadores de Hockey a una prueba experimental sobre cicloergometro. Esta prueba se repite a los tres días y a los seis días con el fin de establecer si existen cambios en el rendimiento. El estudio también describe la aplicación de una Espirómetros simple pre y post entrenamiento. En los resultados presentados los autores mencionan que en las variables espirométricas no se hallaron cambios, pero si en el rendimiento en las pruebas en donde disminuyeron los resultados de la primera respecto de la última. La investigación sugiere que aunque existe literatura que refiere disminución en el rendimiento físico por exposición a aire contaminado, deben realizarse investigaciones de este tipo para establecer como se dan los cambios fisiológicos derivados de este proceso. Concluyen que la Inhalación aguda de concentraciones altas de PM1 típico de muchos entornos urbanos podría perjudicar el ejercicio.

Desde otro enfoque, Hartog, Boogaard, Nijland y Hoek (2010) establecen la relación entre el beneficio del uso de la bicicleta cambiando los medios de transporte a motor y el riesgo de enfermedades adquiridas por la exposición de ciclistas al medio, para ello, afirman en su estudio que aunque desde el punto de vista social, un cambio modal del automóvil por el uso de la bicicleta puede tener efectos beneficiosos para la salud, esto debido a la disminución de las emisiones contaminantes, la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero y el aumento de los niveles de actividad física; sin embargo, la contaminación del aire y el riesgo de un accidente

de tráfico pueden prevalecer en los sujetos por encima de estos beneficios. Los autores describen los beneficios para la salud que tiene la actividad física en bicicleta en los viajes urbanos, cuantificando la ganancia en años de vida que esta conducta trae y contrastándola con los cálculos de indicadores en años de vida perdidos por los riesgos respecto a accidentes y exposición a contaminación del aire. Parten del resumen de la literatura sobre contaminación del aire, accidentes de tráfico y actividad física utilizando revisiones sistemáticas complementadas con estudios recientes al año de publicación. Los cálculos parten de estimar el impacto sobre la mortalidad por todas las causas cuando 500,000 personas generen una transición de automóvil a bicicleta para viajes cortos, a diario, en Holanda. Una vez determinada esta condición, la investigación refiere que allí se expresan impactos de mortalidad en años de vida ganados o perdidos, usando cálculos de tabla de vida. Esta investigación estima que los efectos beneficiosos del aumento de la actividad física son sustancialmente mayores (3-14 meses ganados) que el efecto potencial de mortalidad del aumento de las dosis de contaminación del aire inhalado (0.8-40 días perdidos) y el aumento en accidentes de tráfico (5-9 días perdidos). El estudio refiere que los beneficios sociales son aún mayores debido a una modesta reducción en la contaminación del aire y las emisiones de gases de efecto invernadero y los accidentes de tráfico. Concluyen además, que en promedio, los beneficios para la salud estimados del ciclismo fueron sustancialmente mayores que los riesgos relativos a la conducción de automóviles para las personas que cambian su modo de transporte. En este estudio se coincide con Carlisle y Sharp (2002) cuando menciona que la actividad física al aire libre resulta en una mayor ventilación minuto (volumen de aire inhalado en un minuto) para ciclistas que para conductores de automóviles, Por lo tanto, dosis inhaladas de PM2.5 y, en menor medida, el carbono elemental puede ser más alto en ciclistas. Finalmente, Hartog et al (2010) realizan una observación mencionando que solo se han estudiado los efectos fisiológicos con diseño de estudio

sin intervención directa de la exposición al aire contaminado, pues se sabe acerca de la respuesta inflamatoria sistémica después de la exposición en vía aérea y someter a un grupo de personas a esta condición puede acarrear dilemas éticos. Sugiere aumentar las investigaciones en este tema.

Adicionalmente, otros autores también plantean el riesgo a la exposición del aire ambiente por parte de los ciclistas. Panis et al (2010) evalúa la exposición al material particulado ambiente que se presenta entre un grupo de ciclistas urbanos vs. Un grupo de Pasajeros en coches, desde la mirada que los dos grupos están expuestos al tráfico vehicular y al aire ambiente de una ciudad en Bélgica; este autor considera que puede existir mayor exposición al aire contaminado y mayor inhalación de partículas en los ciclistas asociada al aumento de la frecuencia respiratoria una vez se realiza ciclismo. Para tal fin, utilizan una herramienta de recolección del material particulado y se asigna dos grupos para un recorrido por vías de alto tráfico vehicular, un grupo que transita en coche y al grupo transita en la bicicleta. Una vez definido el método de recolección del material particulado, los investigadores trazan tres recorridos simultáneos en avenidas principales de alta contaminación para los dos grupos; los resultados de ese estudio señalan diferencias significativas entre los contaminantes percibidos por los ciclistas versus los sujetos en coche; en el estudio se sugiere que las cantidades halladas en los dispositivos ubicados en las bicicletas para recolección de contaminantes del aire versus los dispositivos de los coches, son mayores para los ciclistas y que pueden ser inhaladas y depositadas en los pulmones, afirmando, que estas cantidades de material particulado unida con el aumento de la frecuencia respiratoria en las personas una vez realizan recorridos en bicicleta, aumenta el riesgo de que estos contaminantes puedan llegar a las vías áreas de los sujetos. Además, Panis *et al.* (2010). Menciona que quien monta bicicleta puede inhalar 4.3 veces más contaminantes del ambiente comparado a quienes se desplazan en coche. La investigación señala, que la exposición al ambiente contaminado al utilizar medios de

transporte alternativo como la bicicleta ha sido un aspecto ignorado, así como las evaluaciones del riesgo para la salud en las políticas de promoción del ciclismo. Los autores señalan que estas políticas deberían utilizar estimaciones de la exposición en lugar en vez de concentraciones permitidas en las respectivas normas de calidad de aire.

Además, otras variables fisiológicas también parece estar relacionadas con la exposición al aire contaminado, como lo refleja Weichenthal et al (2011), quienes desarrolla un estudio cruzado de correlación de variables, con el fin examinar la relación entre la contaminación del tránsito y los cambios agudos en la variabilidad de la frecuencia cardíaca en ciclistas urbanos. En esta investigación también se recolecta datos de Espirómetros y medidas de óxido nítrico exhalado por los individuos; Los autores fijan criterios de selección para participar del proyecto, reclutando cuarenta y dos adultos sanos quienes realizaron un ciclo de 1 hora en rutas de alto y bajo tráfico vehicular determinadas durante 71 días. Las mediciones respectivas espirométricas y las medidas de actividad cardíaca fueron tomadas antes del inicio de la actividad física del ciclismo y de 1 a 4 horas después de finalizar el recorrido. En este estudio se determinó un dispositivo adaptado a la bicicleta de los individuos por medio del cual se recolectaba información acerca de los niveles de material particulado (MP) en este caso MP 2.5 μm y MP ultrafino ($\leq 0.1 \mu\text{m}$ en diámetro aerodinámico), los investigadores, ubicaron un dispositivo *Holter digital* para registrar la actividad cardíaca, y por medio del cual determinaron pulsos de frecuencia altos y bajos. Los registros cardíacos luego eran almacenados por un software; Una vez se realiza el seguimiento a los resultados obtenidos, los autores refieren que las exposiciones a corto plazo a la contaminación del tránsito pueden contribuir a una modulación del sistema autónomo que controla el corazón, esta conclusión es apoyada al encontrar menor variabilidad cardíaca en los sujetos asignados a rutas de alto tráfico versus los sujetos que recorrieron zonas de bajo tráfico vehicular, deducción hecha una

vez se analiza el comportamiento de los pulsos de alta y baja frecuencia registrados. Por otro lado, para la salud respiratoria, realizaron pruebas de Espirómetros y compararon la línea base obtenida versus las tomas posteriores a los recorridos; Las variables de análisis correspondieron a él volumen espiratorio forzado en 1 segundo (FEV1), capacidad vital forzada (FVC) y flujo espiratorio forzado al 25-75% las cuales fueron calificadas con los criterios de la American Thoracic Society (1995); la conclusión que refiere el artículo, respecto a un respuesta aguda en la salud respiratoria no obtuvo datos significativamente estadísticos al comparar línea base con los seguimientos hechos, por lo que en este estudio se determina que no se observó una fuerte relación entre el tráfico con contaminación del aire y cambios agudos en las vías respiratorias expresados en las variables espirométricas, si se asoció a modificaciones en la respuesta cardiaca con disminución de variabilidad cardiaca.

Otras investigaciones relacionan la prevalencia de síntomas respiratorios con el aire contaminado, entendiendo que la exposición a este, constituye un riesgo de salud pública. Orduz *et al.* (2013) Desarrollan un estudio de corte transversal en el cual evaluaron la prevalencia de síntomas respiratorios en dos áreas de la ciudad de Medellín. En donde seleccionaron dos áreas con distintos tipos de contaminación del aire, una altamente contaminada y otra con niveles bajos de material particulado; los autores asociaron la contaminación por material particulado con los síntomas respiratorios, encontrando que después del análisis estadístico, vivir por más de cinco (5) años en área con niveles de contaminación por PM10 de $75 \mu\text{m}/\text{m}^3$ en promedio, comparado con vivir por más de cinco (5) años en área con niveles de PM10 $45 \mu\text{m}/\text{m}^3$, está asociado con una mayor prevalencia de síntomas respiratorios de tos y flema, bronquitis crónica, obstrucción bronquial y EPOC. Lo que se traduce en mayores costos en salud

Por lo anterior, otros autores han planteado la posibilidad de asociar diversas ocupaciones o actividades que se realizan al aire libre con la exposición al aire contaminado. Es el caso de Estévez, Rojas y Rodríguez (2013), quienes desarrollan un estudio de corte transversal cuantificando la exposición personal a partículas menores de 10 micras (PM10) con el fin de determinar la prevalencia de síntomas respiratorios en 574 policías de tránsito que trabajan en el área metropolitana de Bogotá; los autores refieren que existe una relación entre la exposición a PM10 y los efectos negativos en la salud que conduce a la morbilidad y mortalidad respiratoria y cardiovascular. Para tal fin, dividen el grupo de participantes en dos, 477 policías de tránsito y 97 policías de oficina. En este proyecto, se aplicó un cuestionario sobre síntomas respiratorios, se realizó una evaluación médica toxicológica, y pruebas de función pulmonar por medio de Espirómetros simple, además del monitoreo al PM10 con dispositivos ajustados a cada individuo; los resultados de la investigación sugieren que los síntomas respiratorios como tos, expectoración y rinosinusitis tuvieron mayor prevalencia en los policías de tránsito versus los policías de oficina determinados por el cuestionario y el examen médico realizado a los sujetos. Respecto de las pruebas de función pulmonar, este estudio relata que no se encontraron diferencias en los valores hallados. Finalmente, Los niveles promedio de PM10 obtenidos en los dispositivos puestos a cada sujeto fueron mayores en el grupo de tránsito (139,4 g/m³) comparados con el de oficina (86,03 g/m³). Así mismo, Estévez, Rojas y Rodríguez (2013), mencionan: “Los policías de tránsito expuestos a la contaminación del aire tienen mayor riesgo de desarrollar síntomas y signos respiratorios, como lo muestran este y otros estudios”.

Otra área de investigación acerca del tema, tiene que ver con comparar las contaminaciones de diferentes lugares los cuales tienen concentraciones diferentes de contaminantes del aire y de este modo establecer la relación con la salud humana de las comunidades. Investigaciones como

Sichletidis et al (2014.) desarrollan un estudio prospectivo de cohortes que tuvo lugar en dos áreas de Grecia, definidas en el estudio como una zona de baja concentración de PM10 y una zona de alta concentración de PM10. El objetivo de este estudio fue investigar si la contaminación del aire es un factor de riesgo potencial para la obstrucción de las vías respiratorias. Para tal fin, se revisaron datos clínicos y se aplicó un cuestionario dirigido por neumólogos, una Espirometría simple y rinomanometría para determinar obstrucción nasal. Estas pruebas se aplicaron en dos momentos (visita inicial: 1994-1995 y seguimiento: 2006-2007). Posteriormente, por medio del análisis estadístico con un modelo de regresión logística multivariable el estudio comparo los datos obtenidos en las dos áreas de residencia encontrando que la exposición a la contaminación del aire no fue un factor de riesgo para el desarrollo de enfermedad obstructiva crónica EPOC (OR: 0.51, 95% IC: 0.18-1.46). Aunque, el área de residencia que presentaba mayores niveles de contaminación por material particulado estuvo fuertemente relacionada con el desarrollo de obstrucción Nasal (OR: 11.47, IC 95%: 6.15-21.40, P, 0.001). Finalmente, las principales conclusiones del estudio indican que la contaminación del aire se asoció con obstrucción nasal severa pero no con el desarrollo de EPOC; así mismo, la presencia de obstrucción nasal severa se asoció con una disminución más rápida en volumen forzado del primer segundo VEF1 en la Espirometría.

Entendiendo que la exposición a las partículas del aire contaminado puede afectar la salud humana, algunos autores se enfocan en describir químicamente la composición del aire contaminado por PM y de esta manera evaluar los posibles efectos tóxicos en el organismo. Tal es el caso de Astudillo et al. (2015), quienes afirman que “La exposición a partículas ambientales es un factor de riesgo que ocasiona daños en la salud humana, como trastornos respiratorios,

cardiovasculares y cáncer. La toxicidad y el efecto inflamatorio de estas partículas están relacionados con su tamaño y características químicas”. Estos autores plantean como objetivo de su estudio “determinar las características químicas de la fracción hidrosoluble de Material Particulado PM10, recolectados en tres sitios de monitoreo de la ciudad de Cuenca-Ecuador, y evaluar su actividad genotóxica e inducción de especies reactivas de oxígeno (ROS) en la línea celular epitelial alveolar humana A-549” para tal fin, mediante técnicas de cromatografía iónica y espectroscopia de absorción atómica respectivamente, se evaluaron muestras captadas de PM10 por un dispositivo en 3 puntos de alta contaminación del aire, en los cuales la materia particulada superaba los límites de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; posteriormente en pruebas en laboratorio, las células A-549 fueron expuestas a diferentes concentraciones (0,82; 1,25 y 1,63 m^3/mL) de la fracción hidrosoluble de PM10 hallada, con la finalidad de observar el posible efecto genotóxico que se presentaría en estos tejidos una vez entran en contacto con estos componentes químicos; La línea de células humanas que el estudio utiliza fueron cultivadas en laboratorio. Los investigadores también caracterizaron el análisis inicial de fracción de PM10 en cada uno de los componentes hallados; En el estudio se describe que “la caracterización de la solución acuosa determinó la presencia de aniones (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) y metales pesados (Cr, Fe, Ni, Zn, Cu, Mn)” como componentes del material particulado. La investigación expone que los extractos acuosolubles de PM10, una vez entra en contacto con el cultivo celular, inducen daño celular bajo (tipo I), e incrementan la producción de ROS en células A-549, concluyendo que esto podría constituir un riesgo en la salud de la población expuesta a la inhalación del aire contaminado, el artículo menciona además, “el efecto de las mezclas de metales incrementan los riesgos en la salud debido a una posible sinergismo en su toxicidad, incluyendo la Genotoxicidad y procesos carcinogénicos”.

Recientemente, otros autores han descrito que el ejercicio al aire libre puede exponer el sujeto a inhalar aire contaminado. Desde este punto de vista, los posibles efectos sobre la salud respiratoria fueron evaluados por Chandrasekharan et al. (2015), quienes desarrollan un estudio de corte transversal sobre la influencia del Material particulado en el aire ambiente y su asociación con alteraciones en las funciones pulmonares y problemas de salud respiratoria, en personas que se ejercitan al aire libre en la Región Capital de la India. Este autor trata sobre el concepto “ejercicio al aire libre” haciendo referencia a la práctica de actividad física en contextos urbanos los cuales exponen al sujeto al aire ambiente y generan riesgo en la salud respiratoria; para lograr el objetivo del estudio, esta investigación evaluó la función pulmonar usando un espirómetro (PIKO-1, PIKO-6) y los problemas respiratorios se registraron mediante una encuesta basada en cuestionarios con una muestra de 378 deportistas al aire libre, comparando sus resultados espirométricos con los valores establecidos para población de la india. En consecuencia, la Espirometría se realizó en el sitio justo de practica de actividad física urbana y los datos del material particulado se tomaron del instrumento local de control del aire ambiente; los puntos establecidos para la toma, presentaron material particulado menor a 2.5 micras que superaban límites establecidos por la legislación ambiental y que coincidían con escenarios de práctica de actividad física; Los hallazgos propuestos por Chandrasekharan et al. (2015), establecen que:

se encontró en los datos obtenidos para los deportistas urbanos una disminución en el volumen espiratorio forzado en 1 segundo VEF1 ($p < 0.001$) y la tasa de flujo espiratorio máximo-PEFR ($p < 0.001$) respecto de los valores de referencia; de este modo, respecto del análisis del PM 10 se determinó que el porcentaje de disminución del VEF 1 con un valor $< 80\%$ del valor predicho era de 2.32% en los lugares de menos contaminación y de 8.69% en los lugares de mayor

contaminación evaluados en el estudio; De manera similar, se encontró para el PEFR con valores <80% del predicho un 0.78% de casos en sitios de menor contaminación del estudio y un 2.91% en sitios de mayor contaminación entre los deportistas urbanos; En cuanto al análisis respecto del PM 2.5 Los casos con VEF1 <80% aumentaron de 2.56% a 13.98% y para PEFR de 0.96% a 5.24% entre las concentraciones de PM2.5 más bajas y más altas respectivamente.

Adicionalmente, Los resultados anteriores se soportan en las afirmaciones del estudio de Chandrasekharan et al. (2015), que mencionan que durante el ejercicio hay un aumento en la profundidad de la inspiración respiratoria que genera que las partículas del aire entren en contacto con vías respiratorias; Las partículas inhaladas durante la respiración afectan el revestimiento del tracto respiratorio durante el ejercicio instalándose en los tejidos y no se exhalan, causando problemas respiratorios graves. Dentro de las principales conclusiones del estudio propuesto por estos autores, se establece que en las ciudades de la India millones de personas se ejercitan al aire libre para mejorar sus condición física, No obstante, la mala calidad del aire de las ciudades de este país representa un riesgo sanitario crucial para estas personas; el artículo refiere que este estudio demuestra que los deportistas que realizan actividades al aire libre en lugares con altas concentraciones de PM tienen riesgo de deterioro de la función pulmonar; se proponen dos alternativas de solución, la primera es adecuar los sitios de práctica de actividad física, y la segunda controlar la contaminación ambiental.

Por otro lado, la actividad física al aire libre está relacionada con el medio de transporte que eligen las personas para sus desplazamientos. Desde este punto de vista, Ramos et al. (2015) en su estudio, Comparan la cantidad de material particulado al que pueden estar expuestos los

habitantes de Lisboa en Portugal, según distintos medios de transporte urbano; para tal fin, se determinan grupos de participantes con un tipo diferente de medio de transporte, (el tren, el metro, el autobús, el peatón). En este estudio a cada participante se le asigna un dispositivo que capta el material particulado del aire; una vez finalizan los desplazamientos para los distintos grupos, los investigadores analizan los dispositivos y determinan las cantidades de material particulado al que se exponen cada medio de transporte. Esta investigación encuentra que quien se desplaza caminando se expone en mayor medida respecto de los otros medios de transporte, puesto que el grupo que se desplazó caminando recogió en su dispositivo 3 veces más aire contaminado que quien lo hizo dentro de su carro o en el tren. Aunque esta investigación no menciona ni evalúa directamente la actividad física, se puede deducir que quienes se transportaron caminando realizan actividad física al aire libre y por ende las cantidades recogidas en los dispositivos pueden ser inhaladas en mayor cantidad en este grupo de sujetos.

Del mismo modo, Matt et al. (2016). Desarrollan un estudio en la ciudad de Barcelona, España, en el que plantean como objetivo determinar los efectos agudos de la exposición al tráfico, medido en unidades de material particulado, y la relación con la actividad física sobre los resultados respiratorios en una prueba de función pulmonar. Para tal fin, los autores desarrollan un estudio cruzado de las medidas obtenidas para 30 adultos sanos; Estos participantes completaron cuatro escenarios de exposición de 2 horas que incluyeron descanso o ejercicio intermitente en entornos de tráfico alto y bajo. Los investigadores tomaron medidas de la función respiratoria recolectadas por espirometría en tres momentos. Para el análisis de los datos el estudio implemento modelos de efectos mixtos obteniendo que los resultados hallados, indican que respecto a la variable actividad física, esta se asoció con un aumento estadísticamente significativo del VEF1 (48,5 ml, $p = 0,02$), con un aumento de la relación VEF1 / CVF (0,64%, $p = 0,005$) y del PEF25-75% (97,8

ml, $p = 0,02$).por otro lado, para la variable contaminación del aire se indica que un aumento en la exposición a una unidad ($1 \mu\text{g} / \text{m}^3$) de PM grueso, se asoció con una disminución en el VEF1 ($-1,31 \text{ ml}$, $p = 0,02$) y CVF ($-1,71 \text{ ml}$, $p = 0,01$). La relación de los resultados indica en el artículo que se evalúa beneficio de la actividad física versus riesgo de la contaminación sobre la función pulmonar. Por lo tanto el texto refiere que el aumento de la actividad física (1% de frecuencia cardíaca máxima) reduce los efectos negativos inmediatos de la materia en partículas (PM) sobre las variables espirométricas, incluso observaron que este beneficio perduraba varias horas después retrasando dichos efectos negativos. Sin embargo, El impacto negativo de la exposición a los componentes tráfico en la relación VEF1 / CVF y PEF se atenuó en aquellos participantes con niveles de pre exposición al tráfico más altos en los que está un nivel de actividad física menor. La conclusión de esta investigación indica que los resultados sugieren que las asociaciones entre diversas exposiciones a contaminantes y las medidas respiratorias se modifican por el nivel de actividad física del sujeto durante la exposición.

Ahora bien, en la ciudad de Bogotá otras investigaciones similares a las anteriores en las que se pretende cuantificar la dosis de aire contaminado que puede llegar a tener contacto con el ser humano, como la realizada por Segura y Franco (2016) quienes evaluaron la exposición a la contaminación del aire a la cual de peatones en inmediaciones de tres vías con alto tráfico vehicular en la ciudad de Bogotá (carrera novena, carrera séptima y carrera once); con un MicroAethalometro portátil Modelo AE51 que portaban los sujetos del estudio, con este dispositivo los autores capturaron partículas de carbono del aire determinando que en las tres vías los niveles de contaminantes generaban aire de mala calidad, pero que además, en la vía en la que se presenta tráfico pesado de buses y camiones los niveles eran aún mayores; los autores además

aseguran: “la importancia de involucrar la variable calidad del aire al momento de diseñar infraestructura orientada a modos de transporte no motorizado”. Es importante destacar que la calidad del aire está relacionada en mayor medida con la afluencia de vehículos en las calles y que la cercanía de los sujetos a las principales avenidas puede exponerlos a inhalar aire contaminado.

Otros autores como Estévez (2013) afirma que la Exposición ocupacional a contaminantes atmosféricos en concentraciones altas se asocia con un aumento de alrededor del 5% con respecto a riesgo de mortalidad cardiopulmonar y 8% de cáncer de pulmón. Este autor indica que las partículas emitidas por los gases de escape de vehículos de más de 10 micras se mantienen en el tracto respiratorio superior y las partículas de menos de 10 micrones de tamaño (PM10) se acumulan en el pulmón y producen anomalías respiratorias. El autor afirma que se encontró que la prevalencia de deterioro funcional obstructivo, restrictivo y mixto del pulmón tiene una relación directa con la concentración de polvo y la duración prolongada del individuo en la exposición. La inhalación continua del escape vehicular puede provocar los síntomas del tracto respiratorio, como tos, dificultad para respirar y dolor con inspiración, la cual a su vez, puede provocar problemas bronquiales crónicos en poblaciones expuestas.

Por otro lado, lugares para la práctica de actividad física al aire libre como las ciclo rutas en Bogotá, pueden relacionarse con la exposición de los usuarios de estos sitios al aire contaminado. Este argumento fue evaluado por un grupo de investigación de la Universidad nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, quienes analizan la calidad del aire de Bogotá y sus contaminantes. Allí, Fajardo y Rojas (2012). Integrantes de este grupo, evaluaron los niveles de material particulado en una de las ciclo rutas de Bogotá con el fin de cuantificar la exposición de quien utiliza este escenario para sus desplazamientos. Para ello, los autores ubican sensores que captan el material particulado del ambiente sobre la ciclo ruta, una vez recolectado el contaminante

es analizada su cantidad y concentración. Estos investigadores concluyen que los niveles encontrados eran críticos para la calidad de aire al que se exponían los sujetos; sin embargo esta investigación en su objetivo y metodología no incluye la evaluación de la función respiratoria o de otra variable fisiológica pero advierte de la cercanía de estos contaminantes en los espacios de actividad física y refiere su preocupación por la inhalación de estos contaminantes por los ciclistas que aumentan su frecuencia respiratoria al realizar sus recorridos.

Finalmente, La anterior evidencia indica, que puede existir una relación entre el aire contaminado al que se exponen ciclistas en las ciclo rutas de Bogotá y afecciones de salud tal como la respiratoria.

2.1 Justificación.

Es importante analizar los contextos en los que se desarrolla la práctica de actividad física al aire libre aportando una mirada desde los profesionales de la salud, por lo cual se pretende de una forma investigativa tanto teórica como practica implementar los conocimientos adquiridos en la fisiología respiratoria, y los conocimientos adquiridos como maestrante en actividad física y deporte; para ello se pretende analizar contextos como las ciclo rutas en donde la actividad física al aire libre podría tener riesgo para la salud respiratoria de los ciclistas por la exposición a la contaminación ambiental; por otro lado, se considera que en la actualidad las políticas de implementación de planes de actividad física para las comunidades crecen, algunas de ellas en contextos al aire libre, paralelo al crecimiento de la contaminación en la ciudad. Para ello, es importante que aquellos profesionales quienes dominan el tema, no solo de política pública, si no de ¿cómo se realiza la actividad física?, entre ellos el fisioterapeuta maestrante en deporte y actividad física, logren hacer parte de estos equipos de trabajo y sugerir la manera de optimizar los

múltiples beneficios que conlleva esta práctica y poder realizar las sugerencias pertinentes al contexto donde se realice usando la evidencia científica.

Éste proyecto busca documentar posibles alteraciones en la función pulmonar en ciclo usuarios y si existe o no una relación con la exposición a materiales contaminantes presentes en el aire ambiente de la localidad de Kennedy de la ciudad de Bogotá, por considerar que personas que realizan actividad física al aire libre están expuestas a inhalar la calidad del aire ambiente que se presente en el momento de la actividad física. Para ello, desde la medición Espirométrica de la función pulmonar, se analiza si existe una correlación de estas variables, lo cual podría orientar el desarrollo de nuevos proyectos de investigación, así como de estrategias de prevención y control en ambientes al aire libre como las ciclo rutas de la ciudad; todo ello buscando que la promoción de actividad física en estos escenarios tenga los mayores beneficios para los ciclo-usuarios. Además, con la aplicación de esta investigación se da paso a una intervención fisioterapéutica dentro de la actividad física desde la mirada del análisis de los riesgos para la prevención de las enfermedades, aportando a la investigación científica y ampliando el campo laboral del maestrante de fisioterapia en el área de la actividad física desde la mirada resolutive de problemas.

Adicionalmente, esta investigación cuenta con los datos de contaminantes en el aire entre ellos el material particulado, de las diferentes estaciones de calidad del aire de la secretaria de ambiente de Bogotá. A parte de formalizar el permiso para el uso de los datos, la secretaria cuenta con una plataforma llamada red de calidad del aire la cual arroja datos confiables segundo a segundo acerca de los contaminantes del aire entre ellos el material particulado; resaltando que la consulta a esta plataforma es de acceso gratuito. Los reportes de la red de calidad del aire, se pueden hacer de manera simultánea, o incluso presenta la opción retrospectiva, guardando los datos de

concentración promedio por horas y por cada día, generando la posibilidad de descargarlos en gráficas o documentos de Excel. Por otro lado, los diseños de investigación de los estudios observacionales descriptivos de corte transversal son económicos en su realización y permiten plantar nuevas hipótesis de investigación para profundizar cada día más sobre el tema.

Adicionalmente, se considera que esta investigación es de bajo costo y mediante la cual se fortalece y amplía el que hacer, en primer lugar, del fisioterapeuta y en segundo lugar del maestrante en fisioterapia de la actividad física y el deporte, aportando nuevas estrategias de análisis de los contextos de práctica de actividad física en relación con la salud de las personas, que es una de los objetivos que busca este proyecto.

2.3 Objetivos.

La relación entre el material particulado, la función pulmonar y el uso de la bicicleta permite plantear los siguientes objetivos de investigación:

2.3.1 Objetivo General.

- ❖ Determinar la correlación estadística entre los niveles de material particulado en el aire ambiente con los resultados en la función pulmonar en personas que realizan actividad física al aire libre usando bicicleta en la localidad Kennedy en Bogotá

2.3.2 Objetivos Específicos.

- ❖ Correlacionar los resultados obtenidos de capacidades y volúmenes pulmonares con respecto a los niveles de material particulado presentes en el sitio de transitar de la población de estudio.

- ❖ Determinar los resultados espirométricos, desde los patrones presentados en sujetos que se desplazan en bicicleta por las ciclo rutas correlacionados con los niveles de material particulado.
- ❖ confrontar los resultados espirométricos que presenten los sujetos con respecto al nivel de uso de la bicicleta en las ciclo rutas
- ❖ Determinar el uso de la bicicleta en la población en la ciclo rutas por medio de una encuesta

3. Marco Teórico

Los siguientes temas son soporte teórico de la actual investigación. El siguiente capítulo aborda el conocimiento respecto de los diferentes contaminantes, entre ellos el Material particulado, y los efectos descritos así como los mecanismos de acción de las partículas en el organismo, entendiendo que existe suficiente evidencia y antecedentes de investigaciones que han planteado la relación entre la exposición al aire contaminado y los riesgos en la salud humana.

3.1 Contaminantes del aire.

“Se considera que el aire limpio es un requisito básico de la salud y el bienestar humano. Sin embargo, su contaminación sigue representando una amenaza importante para la salud en todo el mundo” (OMS, 2006, p.5). Recordemos que el aire puro está compuesto de oxígeno (21%) y nitrógeno (78%) y otros gases menos comunes, entre los que se destaca la concentración de dióxido de carbono (CO₂) (0,03%) y la concentración de argón (0,93%); Las plantas por su parte generan oxígeno como un subproducto de la fotosíntesis y de este modo, la atmósfera de la Tierra se considera como oxidante. El aumento de oxígeno ha hecho que muchos organismos vivos desarrollen defensas antioxidantes, no obstante, la contaminación del aire se entiende como

“cualquier condición atmosférica en la que las sustancias presentes están en concentraciones suficientes que producen un efecto adverso medible, en la salud humana, los animales y vegetales, o bien un daño físico en los materiales” (Hernández, 2011, p22.) así mismo, “La contaminación atmosférica se define como la presencia en la atmósfera de elementos contaminantes que alteran su composición y que afectan a cualquier componente del ecosistema” Oyarzún M, (2008). Podemos inferir que los seres vivos estamos preparados para inhalar un aire con determinadas características, y que las modificaciones de este aire por sustancias contaminantes pueden acarrear efectos indeseables para la salud.

(Hernández, 2011, p22.) “Los contaminantes presentes en la atmósfera pueden ser de naturaleza física, biológica o química y pueden aparecer en todos los estados físicos (sólido, líquido o gaseoso)” en consecuencia, “La contaminación del aire puede estar presente ya sea como gases o partículas, y se emite directamente desde una fuente (primaria) o se forma en el atmósfera (secundaria)” (OMS, 2006, p.9). Las fuentes primarias, se deben a causas naturales que provienen fundamentalmente de volcanes, incendios forestales y descomposición de materia orgánica de suelo y los océanos, mientras que las fuentes secundarias o también entendidas como antropogénicas, son producto de actividades del hombre;

Comprende las fuentes fijas y móviles:

- ❖ **Fuentes Fijas o Estacionarias.** Es toda instalación establecida en un solo lugar y que tiene como propósito desarrollar procesos industriales, comerciales, de servicios o actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera. Incluyen a los sectores: químico, petrolero, pinturas y tintas, de automóviles, de papel, del acero, del vidrio, de la generación de la electricidad, del cemento, etc.

❖ **Fuentes Móviles.** Se consideran los vehículos automotores que circulan por carretera tales automóviles camiones, autobuses y motocicletas. (Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial, 2004, Cap.3 - p. 21).

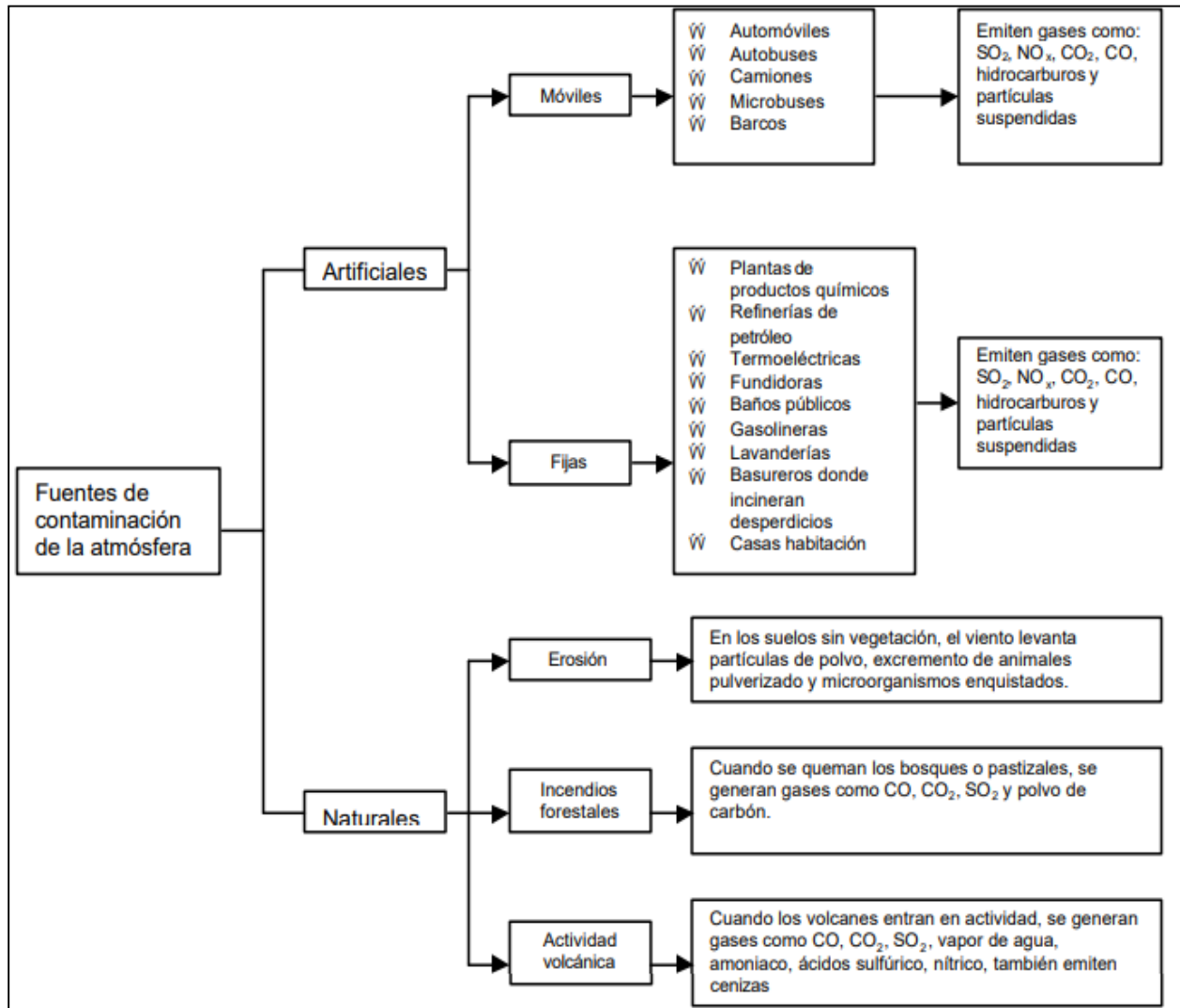


Grafico 1: esquema de fuentes de contaminación de la atmosfera

Fuente: Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial (2004), p. 22

Para Oyarzún (2008). “La exposición a contaminantes del aire no solo puede aumentar la tasa de morbilidad sino la tasa de mortalidad como también puede aumentar el número de ingresos hospitalarios de pacientes con síntomas respiratorios y cardiovasculares”. Existen cientos de

contaminantes en el aire que se presentan en forma de partículas, gases y vapores, estas sustancias al ser liberada en la atmósfera altera la composición natural del aire y puede ocasionar efectos adversos en los seres humanos. Los principales contaminantes del aire se pueden dividir en: contaminantes gaseosos y material particulado.

3.1.1 Contaminantes Gaseosos

Entre las especies gaseosas más importantes se encuentran los compuestos nitrogenados, compuestos azufrados, compuestos carbonados y el ozono

❖ *Compuestos Nitrogenados (NO_x):*

El óxido nítrico (NO), óxido nitroso (N₂O), el trióxido de nitrógeno (N₂O₃), el pentóxido de nitrógeno (N₂O₅) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) se suelen considerar en el conjunto de los compuestos nitrogenados.

“Son producidos por fenómenos naturales: relámpagos, erupciones volcánicas y la acción bacteriana en el suelo, y además por fuentes antropogénicas como los combustibles de motores de combustión interna... una vez en la atmósfera puede participar en una serie de reacciones químicas, producen smog fotoquímico... Puede también reaccionar con la humedad del aire y formas ácido nítrico en forma de aerosol. Los vehículos automotores son los principales responsables de las emisiones. En el mundo el 43% de las emisiones provienen del sector transporte”. (Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial, 2004, p. 21)

❖ *Compuestos Carbonados (CO_x)*

Son aquellos asociados a la producción de carbonos, Este grupo incluye diferentes compuestos como el metano (CH₄), otros hidrocarburos y los clorofluorocarburos (CFC). En el caso del monóxido de carbono (CO), “La peligrosidad del CO se encuentra relacionada con la formación

de carboxihemoglobina en la sangre, asociada ésta con una reducción del nivel de oxígeno al interior del flujo sanguíneo” (Behrentz, Espinosa y Franco, 2008, p.6). Cabe resaltar que el dióxido de carbono CO₂ es asociado con el efecto invernadero de contaminación.

❖ *Compuestos Azufrados (SO_x)*

“Son excelentes núcleos de condensación y por eso generan problemas de visibilidad en la atmósfera. Corroen materiales, son promotores de lluvia ácida y de partículas secundarias asociadas a enfermedades respiratorias y cardiacas” (Behrentz, Espinosa y Franco, 2008, p.6).

❖ *Ozono (O₃)*

“El ozono que se encuentra en la capa exterior de la atmósfera (estratosfera), se forma por la fotólisis de oxígeno o de hidrocarburos que se encuentran en la naturaleza y protegen a la tierra de los rayos ultravioletas. En la capa inferior (tropósfera), el ozono a nivel del suelo se forma como resultado de la reacción entre los compuestos orgánicos volátiles (COV) y los NO_x en presencia de luz solar y a altas temperaturas, es uno de los componentes del smog en zonas urbanas y los vehículos automotores son la principal fuente antropogénica de emisiones del COV y los NO_x” (Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial, 2004, p. 28)

3.1.2 Contaminantes particulados

Los contaminantes particulados o Material particulado, “Son partículas en fase sólida o líquida que están dispersos en el aire. Se originan por fuentes naturales como polvos arrastrados por el viento, cenizas volcánicas, incendios forestales, sal marina y polen; y por fuentes antropogénicas como plantas de generación de energía térmica, la industria, las instalaciones comerciales y

residenciales y los vehículos automotores que utilizan combustibles fósiles” Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial, 2004, p. 29), cabe resaltar que “Estas partículas son peligrosas para la salud de las personas porque tienen la capacidad de penetrar las vías respiratorias” (Behrentz, Espinosa y Franco, 2008, p.8). La contaminación por partículas se compone de la sinergia química entre especies tales como: nitratos, sulfatos, carbono orgánico, hidrocarburos poliaromáticos y metales pesados (cromo, estroncio, zinc, silicio y cadmio), constituyendo el principal problema de calidad del aire de los centros urbanos en el mundo.

3.2 Aspectos del contaminante.

Hay cuatro aspectos para determinar la exposición de los contaminantes definidos por Berglund, Elinder y Järup (2001):

- ❖ La naturaleza del contaminante: Químico (gases, material particulado, metales pesados, halógenos, ácidos, insecticidas), físico (ruido, radiación, temperatura, humedad, vibración) o biológico (virus, hongos, bacterias, gusanos). Para el caso del PM10 se considera un contaminante con propiedades químicas.
- ❖ Intensidad: Concentración del contaminante en el medio, que integrado con la duración del contacto define la exposición. La concentración de contaminantes depende de factores meteorológicos como la temperatura, la velocidad del viento, entre otras.
- ❖ Duración: Se han definido los siguientes períodos de tiempo de exposición: a) corto plazo (segundos, minutos, horas o días), b) largo plazo (semanas, meses, años o toda la vida), y c) la exposición acumulativa que es la exposición total en un periodo de tiempo determinado.

- ❖ Frecuencia: Las concentraciones de agentes potencialmente dañinos difieren en relación con el tiempo del día, semana o temporada, etc., y entre diferentes entornos. Información sobre cómo la gente usa su tiempo puede influir en la exposición considerablemente.

A su vez, los contaminantes pueden sufrir procesos químicos por las distintas reacciones entre sus componentes tales como la transformación o degradación,” la transformación es un cambio en la estructura molecular. Mientras, que la degradación, es la separación de los contaminantes a través de la pérdida de ciertos grupos químicos o la fragmentación de los contaminantes... Algunos de los procesos involucrados en la transformación y la degradación son la oxidación, hidrólisis y fotólisis”. (Berglund, Elinder y Järup, 2001). Las condiciones ambientales como la temperatura, la pluviosidad, oxígeno y otros contaminantes determinan en estos procesos así como la concentración de los mismos.

Por otro lado, “Los contaminantes son transportados a diferentes distancias, tiempos y ambientes. Estos, pueden desplazarse por toda la atmósfera a través del aire y entrar a otros medios de forma húmeda (precipitaciones) o seca (partículas). Estos pueden depositarse en el suelo y posteriormente volver a la atmósfera por re-suspensión de partículas del suelo o absorción en plantas” (Hernández, 2011, p24. Citando a Berglund, 2001).

3.3 Contaminación del aire por material particulado (MP).

El Material particulado (MP o PM, por sus siglas en inglés) es una mezcla compuesta por partículas extremadamente pequeñas que se encuentran suspendidas en el aire. La atmósfera contiene una gran variedad de partículas que aportan a conformar un aire contaminado. Falcón et al (2015) afirman que el PM “se define como sólido y / o líquido suspendido en La atmósfera en

forma de aerosol, derivado de cualquier forma de combustión de combustible diésel, derivado del petróleo y gasolina”. Este tipo de contaminante del aire se genera por procesos, naturales y antropogénicos descritos anteriormente. El proceso de producción en las ciudades capitales, se deriva principalmente de las emisiones al aire ambiente del tráfico automotor y las fuentes industriales, como la generación de electricidad, la minería, Soldadura y construcción.

Una propiedad muy importante del material particulado es su tamaño. “El rango de tamaños del MP varía desde 0.001 μm (micrómetros) hasta 1,000 μm ” (Behrentz, Espinosa y Franco, 2008, p.8). Estas partículas se denominan de diferente manera según su tamaño:

- ❖ *Partículas suspendidas totales (PST)*: Son todas las partículas que se encuentran en el aire sin importar su tamaño.
- ❖ *Fracción respirable o partículas inhalables en suspensión (MP10)*: Partículas cuyo diámetro es menor o igual a 10 micrómetros (μm).
- ❖ *Partículas finas (MP 2.5)*: Son partículas cuyo diámetro es menor o igual a 2.5 μm .
- ❖ *Partículas ultrafinas*: Son partículas cuyo diámetro es menor o igual 0.1 μm .

Resumido de: (Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial, 2004, p. 28)

Las características por su tamaño que se describen anteriormente, son resumidas en la siguiente tabla 1.

Tabla 1:

Características del material particulado

Nombre	Acrónimo	Descripción
PM grueso	PM 2.5 - 10	PM con un diámetro aerodinámico medio entre 2.5 y 10 μm
PM fino	PM 2.5	PM con un diámetro aerodinámico medio menor a 2.5 μm
PM ultra fino	PM 0.1	PM con un diámetro aerodinámico de 0.1 μm o menos
<i>PM material particulado</i>		

Nota. Fuente traducida al español de: Giles y Kohele (2014). The Health Effects of Exercising in Air Pollution Division of Sports Medicine, University of British Columbia. *Sports Med* (p.224)

“Las partículas más pequeñas son más peligrosas para el hombre porque tienen mayor probabilidad de ingresar a la parte interior de los pulmones. Las PM_{2.5}, pueden permanecer suspendidas en el aire y recorrer grandes distancias” (Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial, 2004, p. 29). “Dentro de las partículas suspendidas se denomina “respirables” a las de un diámetro menor o igual a 10 μm (PM₁₀) por su capacidad de introducirse en las vías respiratorias” Oyarzún (2008). En consecuencia, El PM “constituye el principal problema de calidad del aire en los centros urbanos del país. Sus concentraciones ambientales en algunas zonas (ejemplo: zonas industriales) sobrepasan los valores de referencia establecidos por la normativa nacional” (Behrentz, Espinosa y Franco, 2008, p.6).

El incremento de aeropartículas es un problema que afecta a las principales ciudades del mundo dado el creciente número de vehículos de motor, la propagación de las industrias y demás agentes contaminantes. La contaminación por material particulado se mide principalmente evaluando la masa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y el tamaño aerodinámico de las partículas. Esto se justifica debido a que el tamaño y la concentración determinan la capacidad de dichas partículas de penetrar en el tracto respiratorio de los individuos expuestos. Por lo anterior, la OMS establece valores permitidos respecto de la

concentración de dichos contaminantes, de los cuales, aunque con algunas diferencias, parten las normativas de cada región para el control ambiental local. “La concentración de un contaminante en el ambiente se refiere a la presencia en un medio de transporte en particular (por ejemplo: PM10 en el aire) expresada en términos cuantitativos (por ejemplo: $\mu\text{g}/\text{m}^3$). La concentración ambiental del contaminante puede estar influenciada por el transporte, la transformación del contaminante y el destino” (Hernández, 2011, p24.). La tabla 2 muestra los parámetros establecidos por la OMS respecto al promedio diario y anual de MP

Tabla 2:

Límites Establecidos Por La OMS Para El Material Particulado

Contaminante	Promedio del periodo		
	Anual	24 horas	8 horas
PM 10	10 μm^3	20 μm^3	
PM 2.5	25 μm^3	50 μm^3	
ozono			50 ppb
Monóxido de carbono			9 ppm
<i>PM material particulado Ppb partes por billón Ppm partes por millón</i>			

Nota. Traducido de Fuente: Giles y Kohele (2014). The Health Effect of Exercising in Air Pollution Division of Sports Medicine, University of British Columbia. *Sports Med* (p.224)

En consecuencia, “Se han establecido “normas de calidad del aire”, que es el nivel de contaminantes aéreos sobre el cual se espera la aparición de efectos indeseables. Las normas primarias son niveles que protegen la salud de la población con cierto margen de seguridad”

(Oyarzún, 2008, p3). Esto se debe a que: “Posterior al contacto del ser humano con el contaminante a través de la inhalación, ingestión o contacto, alcanza el órgano blanco donde se producen sus efectos adversos sobre la salud” (Jiménez, 2011, p 25.)

Por otro lado, diferentes reacciones químicas se dan en el aire en lo que constituye los mecanismos de formación y propagación del material particulado

“Estos procesos sigue tres pasos que pueden aumentar el tamaño de partícula o modificar su composición. El modo de nucleación es el primer paso en la generación de nuevas partículas y depende de la concentración de gases, la humedad y la temperatura en la atmósfera, el segundo paso es la condensación, que es la transición de la fase gaseosa a fase líquida o sólida por reacción química, formando los primeros núcleos o partículas en el ambiente; El paso final en la formación de aerosol es la coagulación. Los Aerosoles enteros formados en pasos anteriores puede comenzar a aglomerarse, en consecuencia, las partículas crecen en tamaño aerodinámico formando partículas secundarias de partículas primarias” (Falcón, Osornio, Sada y Segura, 2016, p.2). Lo descrito en el párrafo anterior se puede observar en la Figura 1.

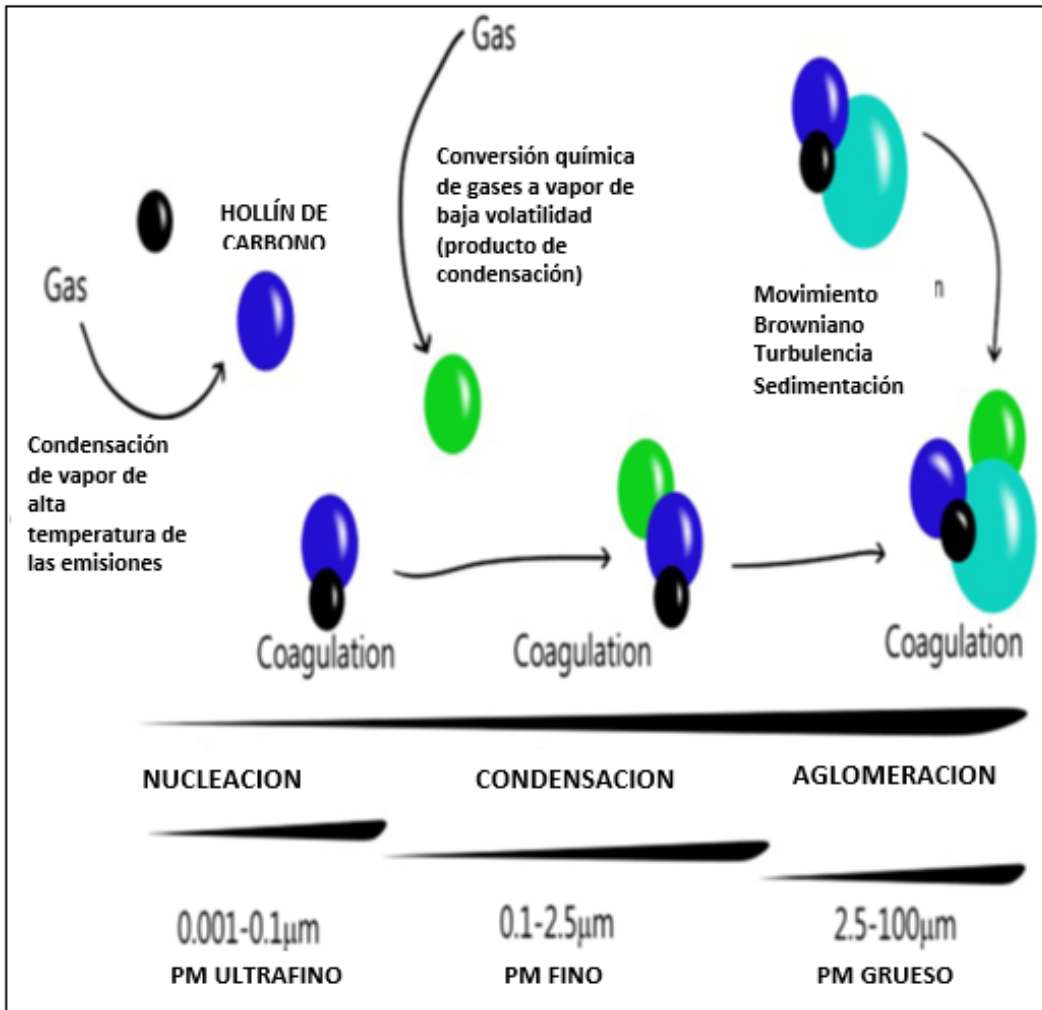


Figura 1. Partículas Y Su Dinámica Atmosférica.

Fuente traducida de. Falcón, Osornio, Sada y Segura (2016). Aeroparticles, Composition, and Lung Diseases. *Frontiers in Immunology. Scisense direct. el server journals* doi: 10.3389/fimmu.2016.00003 (p.3).

Así mismo, las partículas según su tamaño y los anteriores procesos descritos, tendrán características diferentes respecto al alcance de su distancia de viaje, vida útil, fuente que la emite, en fin. Las características entre partículas finas y gruesas se describen y comparan en la tabla 3.

Tabla 3:

Comparación de las características entre partículas finas y gruesas

	Partículas finas	Partículas gruesas
Formado de:	Gases	Sólidos grandes/gotas pequeñas
Formado por:	Reacción química: nucleación; condensación: coagulación; evaporación de niebla y gotas de nubes; responde los gases se han disuelto y reaccionado.	Disrupción mecánica (por ejemplo. trituración, abrasión de superficies); evaporación de atomizadores; suspensión de polvo.
Compuesto de:	Sulfato SO ₂ ; nitrato NO ₃ ; amonio. NH ₄ ⁺ ; ion hidrógeno; carbón elemental; compuestos orgánicos (por ejemplo. hidrocarburos aromáticos poli cíclicos): metales (por ejemplo. Pb. Cd. V. Ni. Cu. Zn. Mn. Fe); agua Ligada a las' partículas.	Polvos re suspendidos (por ejemplo. polvos del suelo. polvos de la calle): ceniza de carbón y petróleo. Óxidos metálicos de elementos presentes en la corteza terrestre (Si. Al. Ti. Fe): CaCO ₃ , NaCl, sal marina: polen. Esporas de moho: fragmentos de animales y plantas; restos de llantas gastadas.
Solubilidad	Muy soluble, higroscópico y deliquescente	Muy insoluble y no higroscópico
Fuentes	Combustión de carbón, aceite, Gasolina, Diésel, Madera; productos de transformación atmosférica de NO _x , .SO ₂ , y compuestos orgánicos incluidas las especies biogénicas (por ejemplo. terpenos), procesos de altas temperaturas, fundición, fábricas de acero, etcétera.	Re suspensión del polvo industria y de la tierra que permanece en los caminos; suspensión de tierra removida (por ejemplo, por la agricultura, minería, caminos no pavimentados); fuentes biológicas; construcción y demolición; combustión de carbón y de aceite: brisa marina.
Vida útil	De días a semanas	De minutos a horas
Distancia de viaje	Cientos a miles de kilómetros	< 1 a decenas de kilómetros

Nota. Fuente: Guías para la Calidad del Aire OMS (2004) pág. 8

Adicionalmente, “Si Consideramos que el material particulado representa mezclas complejas, y que algunos de los componentes presentes en ellas han sido caracterizados como

tóxicos, se puede inferir que la composición de las partículas podría jugar un papel importante en la toxicidad relativa de partículas inhaladas” (Alfaro, 2004)

3.4 Reglamentación del material particulado para Bogotá.

Los niveles permitidos o establecidos por un rango por la OMS presentados en la anterior tabla, son punto de partida para que los gobiernos tomen su propia reglamentación respecto de la contaminación ambiental. En el caso de la ciudad de Bogotá, se establece a partir de La secretaria distrital de ambiente y el secretario distrital de salud. (2015). *“la resolución conjunta 2410 de 2015: por el cual se establece el índice de calidad del aire –IBOCA- para la definición de niveles de prevención, alerta o emergencia por contaminación atmosférica en Bogotá D.C. y se toman otras determinaciones”*. En esta resolución, se determinan los niveles permitidos de contaminación del aire y la escala de medición que se pueden apreciar en la tabla 4.

Tabla 4:

Índice bogotano de calidad del aire IBOCA

Atributos del IBOCA				Rangos de concentración para cada contaminante y tiempo de exposición del IBOCA ¹					
Rangos numéricos	Color	Estado de calidad del aire	Estado de actuación y respuesta	PM ₁₀ , 24h (µg/m ³)	PM _{2.5} , 24h (µg/m ³)	O ₃ , 8h (µg/m ³) [ppb]	CO, 8h (µg/m ³) [ppm]	SO ₂ , 1h (µg/m ³) [ppb]	NO ₂ , 1h (µg/m ³) [ppb]
0 - 10	Azul claro	Favorable	Prevención	(0-51)	(0-12)	(0-116) [0-59]	(0-5038) [0.0-4.4]	(0-93) [0-35]	(0-100) [0-53]
10,1 - 20	Verde	Moderada	Prevención	(55-154)	(12.1-35.4)	(117-148) [60-75]	(5039-10762) [4.5-9.4]	(94-198) [36-75]	(101-188) [54-100]
20,1 - 30	Amarillo	Regular	Alerta Amarilla	(155-254)	(35.5-55.4)	(149-187) [76-95]	(10763-14197) [9.5-12.4]	(199-486) [76-185]	(189-677) [101-360]
30,1 - 40	Naranja	Mala	Alerta Naranja	(255-354)	(55.5-150.4)	(188-226)	(14198-17631)	(487-797)	(678-1221) [361-649]

						[96-115]	[12.5-15.4]	[186-304]	
40,1 - 60	Rojo ²	Muy Mala	Alerta Roja ¹	(355-424)	(150.5-250.4)	(227-734) [116-374]	(17632-34805) [15.5-30.4]	(798-1583) [305-604]	(1221-2349) [650-1249]
60,1 - 100 ³	Morado	Peligrosa	Emergencia	(425-604)	(250.5-500.4)	(734-938) [374-938]	(34806-57703) [30.5-50.4]	(1584-2630) [605-1004]	(2350-3853) [1250-2049]

Fuente: La secretaria distrital de ambiente y el secretario distrital de salud. (2015). *Resolución conjunta 2410*. Recuperado de: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=64167>

En consecuencia, la tabla 4 nos refleja que los rangos de concentración para cada contaminante se determinan por el promedio para la materia particulada acumulada en 24/horas y para los demás contaminantes de 8/horas. La resolución refiere: “es un indicador multipropósito adimensional, calculado a partir de las concentraciones de contaminantes atmosféricos en un momento y lugar de la ciudad, que comunica simultáneamente y de forma sencilla, oportuna y clara el riesgo ambiental por contaminación atmosférica”. Los datos obtenidos son logrados por las estaciones de monitoreo de calidad del aire (RMCAB) conformada por 13 estaciones fijas de monitoreo y una estación móvil, ubicadas en diferentes sitios de la ciudad, dotadas con equipos de alta tecnología que permiten realizar un monitoreo automático y continuo de las concentraciones de los diferentes contaminantes

3.4.1 Datos del material particulado de la estación de monitoreo de Kennedy.

Se elige esta estación para la investigación, básicamente por dos motivos. En primer lugar, tanto en *el Informe anual de calidad del aire en Bogotá (2016) (secretaría de ambiente)* como en *el Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2011 – 2015 (IDEAM, últimos reportes a la fecha del presente proyecto)*, la localidad de Kennedy se considera la más contaminada por

material particulado en Bogotá; en segundo lugar, aunque la localidad cuenta con 2 estaciones de monitoreo como son Kennedy y Carvajal, esta última con mayores niveles aun, se escoge la estación de Kennedy por estar ubicada a 20 metros de una de las ciclo ruta más transitadas de la localidad.

Las siguientes tablas nos muestran el comportamiento del material particulado, PM 2.5 y PM10 en promedio anual, registrados por las estaciones y donde se evidencia superan los límites establecidos.

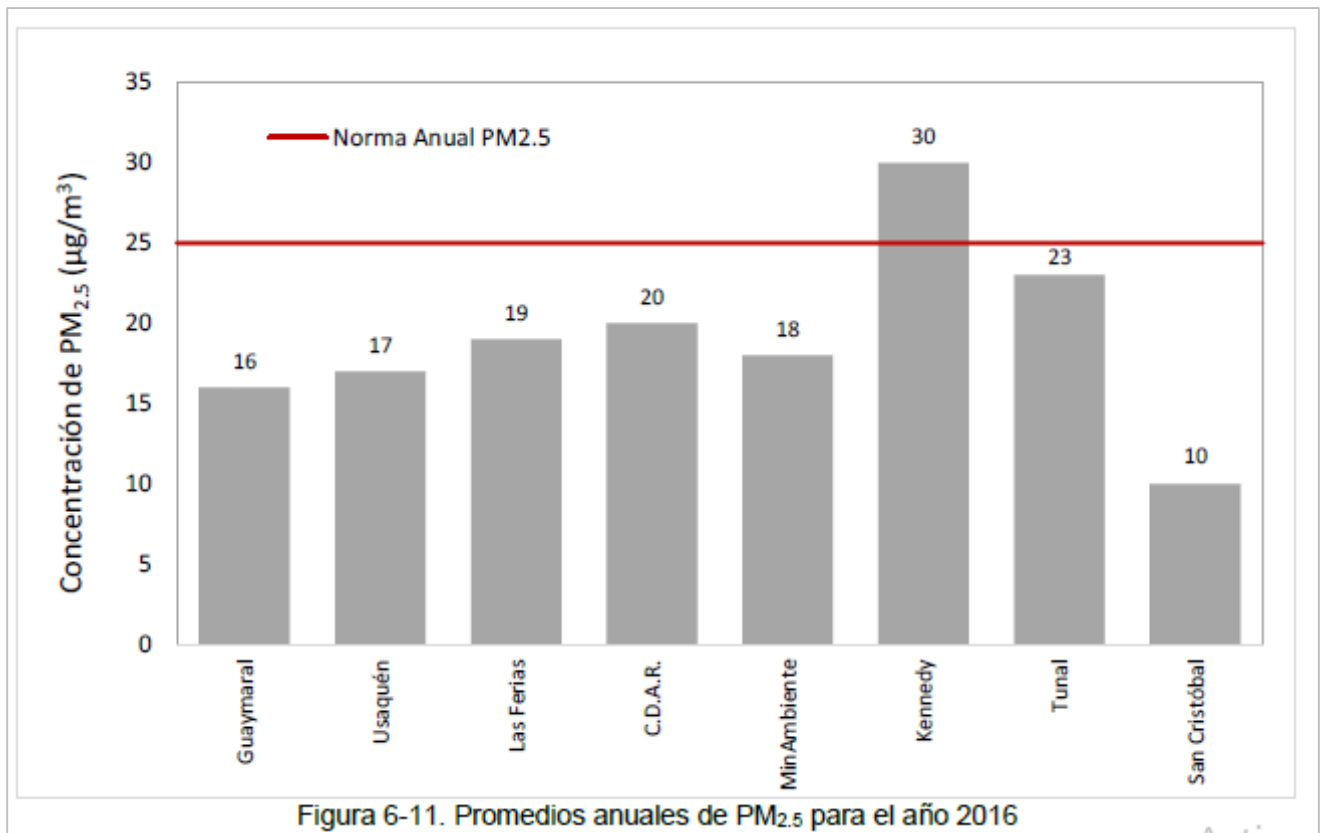


Figura 2. Promedios anuales de PM_{2.5} para el año 2016

Fuente: Informe anual de calidad del aire de Bogotá (2016). Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB). Secretaría Distrital de Ambiente Dirección de Control Ambiental, Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual pp38.

En la anterior figura 2 se observa como la estación Kennedy registra que esta zona de la ciudad supera los límites promedio anuales establecidos para PM 2.5 por la OMS de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y ocupa el primer lugar en este contaminante en la ciudad.

En la siguiente figura 3 la estación Kennedy registra que esta zona de la ciudad supera los límites promedio anuales establecidos para PM 10 por la OMs de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y ocupa el segundo lugar en este contaminante en la ciudad. Cabe resaltar, que el primer lugar lo ocupa la estación Carvajal, la cual se ubica también en la localidad de Kennedy.

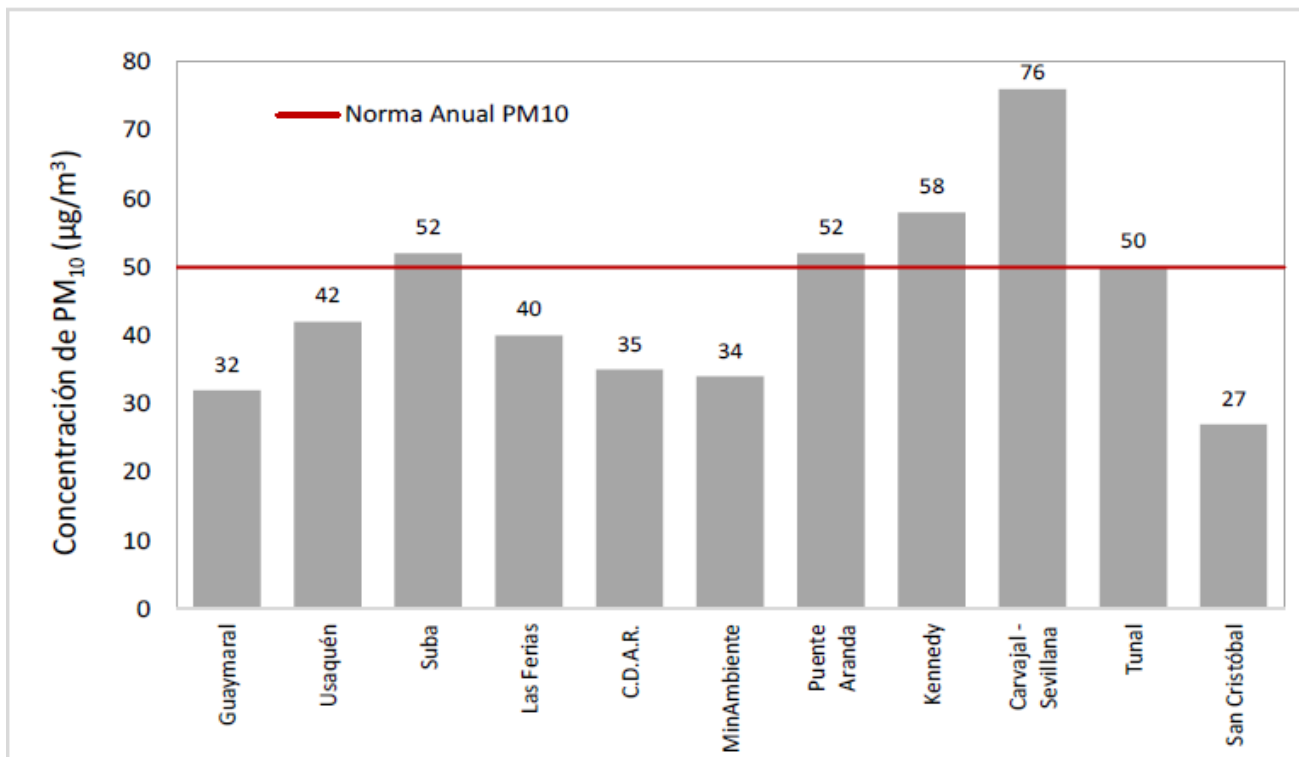


Figura 3. Promedios anuales de PM 10 para el año 2016

Fuente: Informe anual de calidad del aire de Bogotá (2016). Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB). Secretaría Distrital de Ambiente Dirección de Control Ambiental, Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual pp 27.

Por lo anterior, podemos evidenciar los altos índices de contaminación del aire de esta zona de la ciudad, zona en donde se realiza la presente investigación.

3.5 Efectos adversos de los contaminantes sobre la salud humana.

Fonseca et al. (2018) “La exposición a la contaminación del aire ambiente es una situación adversa y un riesgo la salud respiratoria, particularmente en los jóvenes, ancianos y aquellos con comorbilidades tales como enfermedad cardíaca”. Sin embargo, Los efectos adversos que los contaminantes mencionados en el aire pueden tener sobre la salud humana no solo afectan el sistema pulmonar si no que su capacidad de penetración puede afectar otros sistemas u órganos. Por tal motivo, estos efectos ya han sido estudiados por diversos autores. “Estos efectos son múltiples y pueden afectar a los diferentes órganos y sistemas con diversos grados de intensidad” (Oyarzún, 2008, p20). Cada uno de los contaminantes tendrá un efecto diferencial, esto determinado por las reacciones que puede generar en el organismo y porque su composición química es distinta. “La ruta de exposición se define como el curso físico que toma un contaminante desde la fuente hasta el organismo expuesto a través del aire, agua o suelo. Mientras que la vía de exposición es la forma como el contaminante entra al organismo y alcanza el órgano blanco por inhalación, ingestión y contacto dérmico“(Jiménez, 2011 citando a Berglund, Elinder y Järup 2001, p 25.).

Adicionalmente, es de resaltar que “la inhalación es el medio más fácil y rápido de exposición a las sustancias tóxicas porque estas se absorben fácilmente en el sistema respiratorio. Los siguientes factores afectan la inhalación de sustancias tóxicas: concentración del contaminante, solubilidad de la sustancia en la sangre y en los tejidos, tasa respiratoria, duración de la exposición, estado del sistema respiratorio y tamaño de la partícula” (Hernández, 2011, p 26.). Entre tanto, “Los efectos adversos dependen por una parte, de la concentración y la duración de la exposición y por otra, de la susceptibilidad de las personas expuestas. La dosis efectivamente recibida es dependiente de la ventilación minuto” (Oyarzún, 2008, p18). Sin embargo, “Debido a la cantidad de estímulos dentro

del ambiente aire, identificar con precisión las causas y / o interacciones responsables para el inicio de la enfermedad es difícil, ya que estos puede desencadenar una variedad de mecanismos de defensa en el cuerpo humano” Fonseca (2018)

En consecuencia, establecer la fisiopatología exacta depende de diversos factores. Según la siguiente fórmula tomada de Oyarzún (2008), en ella se resumen los factores que afectan los posibles eventos adversos desencadenados por la exposición al contaminante del aire ambiente y por la cual se estima que los efectos son la sinergia de varios factores al que se le puede añadir la susceptibilidad individual para acarrear un proceso adverso de salud:

$$\text{Dosis efectiva} = [\text{Concentración}] * [\text{Tiempo de exposición}] * [\text{Ventilación minuto}]$$

Por lo anterior, se presume que a mayor exposición mayores efectos adversos. Esta exposición puede estar dada a corto o a largo plazo, se estima que el sistema respiratorio es uno de los de mayor afectación para la salud humana. La siguiente tabla describe los efectos sobre este sistema.

Tabla 5:

Efectos adversos de los contaminantes sobre el sistema respiratorio

Contaminante	Efecto a corto plazo	Efecto a largo plazo
Material particulado “respirable” (PM10) y fino	Aumento de morbimortalidad respiratoria Disminución en la función pulmonar Interferencia en mecanismos de defensa pulmonar: fagocitosis y depuración mucosiliar Síndrome bronquial obstructivo	Menor desarrollo de la estructura y función del sistema respiratorio Mayor riesgo de cáncer en la edad adulta (HAPs)
Particulado ultra fino (PM 0,1)	Mayor respuesta inflamatoria. (comparado con PM10 y PM2,5) Pasaje rápido a la circulación y a otros órganos	
Ozono (O3)	Disminución de frecuencia respiratoria y de CVF y VEFI Alveolitis neutrofílica, aumento de	Daño de células “bronquiolización” Disminución del

	hiperreactividad bronquial Alteración del epitelio alveolar (células tipo II)	de CVF y VEF1
Dióxido de azufre (SO ₂)	Obstrucción bronquial Hipersecreción bronquial	Bronquitis crónica
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Hiperreactividad bronquial Aumento de síntomas respiratorios y de asma Aumenta la respuesta a la provocación con Disminución de la actividad mucociliar	Posible decremento del desarrollo pulmonar
Monóxido de (CO)	Disminución en la capacidad de ejercicio	
Plomo (Pb)	Alteración del epitelio bronquiolar (células de Clara)	

CVF: Capacidad vital forzada; VEF₁: Volumen espiratorio forzado en el primer segundo. HAPs: hidrocarburos aromáticos policíclicos. **Nota. Fuente:** Oyarzun M, (2008). Contaminación aérea y sus efectos en la salud, Artículo basado en una conferencia pronunciada en el 1er Congreso de Atención Primaria en Salud: “Mejorando la red asistencial con un enfoque multidisciplinario”. Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Católica del Maule. Talca 29.08. (P.20)

No obstante, la diferencia en tamaños de las partículas y los contaminantes hacen que incluso penetren las barreras respiratorias y lleguen a afectar otros sistemas. “Estos efectos son múltiples y pueden afectar a los diferentes órganos y sistemas con diversos grados de intensidad. En las últimas décadas se ha puesto énfasis en los efectos cardiovasculares. La morbimortalidad por enfermedades cardiovasculares aumenta con la contaminación atmosférica especialmente de PM10 y CO principalmente por arterioesclerosis, arritmias e insuficiencia coronaria en adultos” (Oyarzún, 2008, p.17).

Por otro lado, todas aquellas condiciones que impliquen un aumento de la ventilación implicaran una mayor exposición al aire que se inhala. “Entre los factores que aumentan la ventilación elevando la carga de contaminantes que recibe el pulmón, destaca el aumento de la temperatura y humedad que dificultan la termólisis, el aumento de la altitud, que lleva a la disminución de la presión inspirada de O₂ y por ende a hipoxemia hipobárica, el aumento de la progesterona (en el embarazo), estados febriles y el ejercicio físico. Todas ellas son condiciones

que provocan un aumento de la frecuencia respiratoria y del volumen corriente que son los factores determinantes de la ventilación minuto.” (Oyarzún, 2008, p19). De este modo, se han descrito efectos de cada contaminante del aire en cada uno de los diferentes sistemas. La siguiente tabla 6 nos presenta un resumen de dichos efectos sobre sistemas diferentes al respiratorio, siendo esta la principal vía de acceso al interior del ser humano.

Tabla 6:

Efectos no respiratorios de los contaminantes atmosféricos

Órganos / Sistemas	Contaminantes	Efectos
Cardiovascular	Material particulado	Disminución de la variabilidad en la frecuencia cardíaca ante el estrés
	Monóxido de carbono Plomo / Vanadio	Interfiere el transporte de O ₂ por la hemoglobina Mayor frecuencia de hipertensión arterial en población adulta
	Ozono (O ₃)	Comunicación interventricular (administración prenatal en ratas)
Unidad materno-fetal	Monóxido de carbono y (hidrocarburos aromáticos policíclicos: HAP)	Bajo peso de nacimiento Baja talla al nacer
Sistema nervioso central y autonómico	Monóxido de carbono	Cefalea, irritabilidad, disminución de percepción auditiva y visual. Compromiso progresivo y letal de conciencia en concentraciones altas
	Plomo Ozono (O ₃)	Hiperquinesia, trastornos del aprendizaje; encefalopatía; cólicos intestinales Daño cerebeloso en células de Purkinje (administrado prenatalmente en ratas)
Renal	Cadmio y Vanadio	Toxicidad renal
	Plomo	Tubulopatía
Hematopoyético	Plomo	Anemia
Óseo	Plomo	Reemplazo del Ca ⁺² en los huesos produciendo descalcificación

Nota. Fuente: Oyarzún M, (2008). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. Artículo basado en una conferencia pronunciada en el 1er Congreso de Atención Primaria en Salud: “Mejorando la red asistencial con un enfoque multidisciplinario”. Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Católica del Maule. Talca 29.08. (P.21)

3.6 Material particulado del aire y su relación con la salud respiratoria.

Bai et al. (2018) “Evaluar la exposición individual a los contaminantes transportados por el aire es de importancia crítica en toxicológica y en estudios de epidemiología. En los primeros estudios, la exposición individual a la contaminación del aire generalmente se infiere de las mediciones hecho por estaciones de monitoreo, bajo el suposición de que todas las personas que viven en un área determinada compartió la misma exposición” no obstante, Carlisle y Sharp (2002) refieren que aunque es lógico estudiar los efectos que tienen cada contaminante del aire por separado y es común que se haga en diversas investigaciones, los contaminantes del aire ambiente no existen en aislamiento; constituyen un cóctel y sinergismo químico que puede aumentar su peligrosidad para la salud humana. Sin embargo, este apartado describe lo concerniente a la materia particulada sin obviar el párrafo anterior.

Por otro lado, Para Fonseca et al. (2018) “Debido a sus tamaño pequeño, la PM está sujeto al viento y otras condiciones climáticas que permiten la dispersión y exposición lejos de su fuente de origen” es decir, “partimos del hecho que este contaminante tiene como principal ruta de desplazamiento el aire y la inhalación como principal vía de exposición”. (Jiménez, 2011, p.25), además, “La peligrosidad de este tipo de contaminante “se encuentra asociada con su tamaño y con las sustancias tóxicas que se pueden adherir a su superficie (entre las que se incluyen metales pesados y bacterias)... Las partículas más pequeñas pueden entrar y alcanzar lugares más profundos dentro del sistema respiratorio de las personas” (Behrentz, Espinosa y Franco, 2008, p.9), recientemente,

En consecuencia, se estima que (Jiménez, 2011, p.25): “Sólo en el momento en que una persona respira aire contaminado se produce la exposición. Sin embargo, no todo el contaminante inhalado es absorbido por el sistema respiratorio; una parte del aire contaminando se exhala con la respiración, tos, estornudos, soplos o expectoración. La cantidad del contaminante que alcanza a ingresar al cuerpo se conoce como dosis, el cual corresponde a una fracción de la exposición. Por su parte, la dosis absorbida (o dosis interna) es la cantidad de un agente que pasa a un tejido u órgano en un intervalo de tiempo. Al aumentar la exposición y la dosis, los efectos adversos por lo general se hará más pronunciados y un mayor número de personas se verán afectadas. En el caso de la exposición a MP, se considera que la concentración de exposición, es decir la que se produce en la zona respirable del individuo y la dosis de exposición son similares”.

Según lo anterior, Se estima que los posibles eventos adversos del material particulado se pueden establecer si:

$$\text{Dosis efectiva} = [\text{Concentración (se superan límites permitidos)}] * [\text{Tiempo de exposición (se aumenta el tiempo respirando un aire contaminado)}] * [\text{Ventilación minuto (se incrementa la frecuencia respiratoria)}]$$

Modificado de: Oyarzún (2008).

Sin embargo, “Los incrementos en los riesgos a la salud se presentan incluso cuando las Concentraciones atmosféricas de las partículas se encuentran a niveles por debajo de los estándares de calidad aceptados (Alfaro, 2004, p. 9 citando a Borja et al. 1997, y a Castillejos et al. 2000). Para Wagner y clark (2018) “Los resultados de los diversos estudios a través de las últimas décadas, sugieren que la contaminación por PM desempeña un papel en la incidencia y gravedad de la enfermedad respiratoria”. En consecuencia, La relación con la exposición a partículas urbanas

generadas por diversas fuentes permite considerar cuáles son las posibles vías que sigue una partícula luego de depositarse en el tracto respiratorio para desencadenar diferentes efectos fisiopatológicos y poder alterar la salud de los sujetos expuestos. Se estima que “Las partículas de más de 10 μg de diámetro, inhaladas por la nariz, se depositan en la sección extra torácica de las vías respiratorias, en tanto que las fracciones de 2,5 μg a 10 μg se depositan cerca de las vías aéreas finas. Las MP 2,5 preocupan más porque pueden evadir el sistema de defensa del aparato respiratorio humano y llegar al tejido pulmonar, donde pueden permanecer alojadas durante años o, en el caso de las partículas solubles, pueden ser absorbidas en el torrente sanguíneo” (Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial, 2004, p. 49 citando a ALA 1997); desde este enfoque, una vez las que partículas penetran el espacio alveolar donde se albergan son fagocitadas por los macrófagos alveolares, desencadenando una reacción inflamatoria crónica, lo que concuerda con un estudio realizado por Watersson et al (2012) quienes realizaron una serie de estudios utilizando células epiteliales bronquiales humanas cultivadas en laboratorio, tratadas con la fracción insoluble de PM_{2.5} recogidas. Allí, Las células expuestas a PM_{2.5} desencadenaron una respuesta inflamatoria, con una regulación positiva de los receptores de citocina y de interleuquinas 1 y 6, a través de mecanismos que implican la respuesta de proteína desplegada, que es una respuesta celular al estrés del retículo endoplásmico

Así mismo, “La evidencia que se ha venido colectando en los últimos años sugiere que diferentes componentes presentes en la contaminación atmosférica por MP podrían jugar un papel importante en la promoción y perpetuación de respuestas inflamatorias o carcinogénicas. Por ejemplo, se sabe que metales tales como vanadio, níquel, y plomo se pueden encontrar presentes en muestras de PM₁₀... Se sabe que estos metales se asocian con procesos pro-inflamatorios y

cáncer (Alfaro, 2004, p.10 citando a Miranda et al. 1992, Bonner et al. 1998, Osornio et al. 2003), coincidiendo con Ljubimova et al (2018). Por otro lado, “los componentes de tipo orgánico y biológico podrían jugar un papel central en la inducción de inflamación. Tal es el caso del lipopolisacárido (LPS), el cual es un componente de la membrana externa de las bacterias Gram negativas, el cual ha sido considerado como un factor fundamental en la exacerbación y desarrollo de asma” (Alfaro 2004, p.11, citando a Rosas et al. 1994, Schwartz 2001), se estima además, la presencia de la respuesta inflamatoria en los componentes de membrana mencionados una vez existe contacto con el contaminante particulado. “El material particulado se deposita fácilmente en bifurcaciones o ángulos ramificaciones del árbol bronquial debido al flujo de aire y la turbulencia, aumentando la interacción de MP con la membrana mucosa a través de un proceso de impacto... Una vez depositado en una región en particular en el pulmón, puede penetrar o ser absorbido por la mucosa, generando daño local” (Falcón et al, 2016, p.4, citando a Shusterman (2011) y Zhang et al (2001)). De este modo, “Desde 1980, muchos informes han mencionado que la exposición a PM aumenta el cáncer y las muertes. Es bien sabido que esa exposición a PM causa enfermedades pulmonares como la EPOC, asma y fibrosis” (Falcón et al, 2016, p.4)

En consecuencia, el MP puede producir daño a todo el aparato respiratorio, aumentando la permeabilidad celular y reduciendo la actividad mucociliar mediante la producción de ROS y liberaciones de citosinas. La Figura 4 nos ilustra los lugares anatómicos a los que pueden llegar las partículas según su tamaño y en donde pueden generar reacciones adversas en los diferentes sistemas:

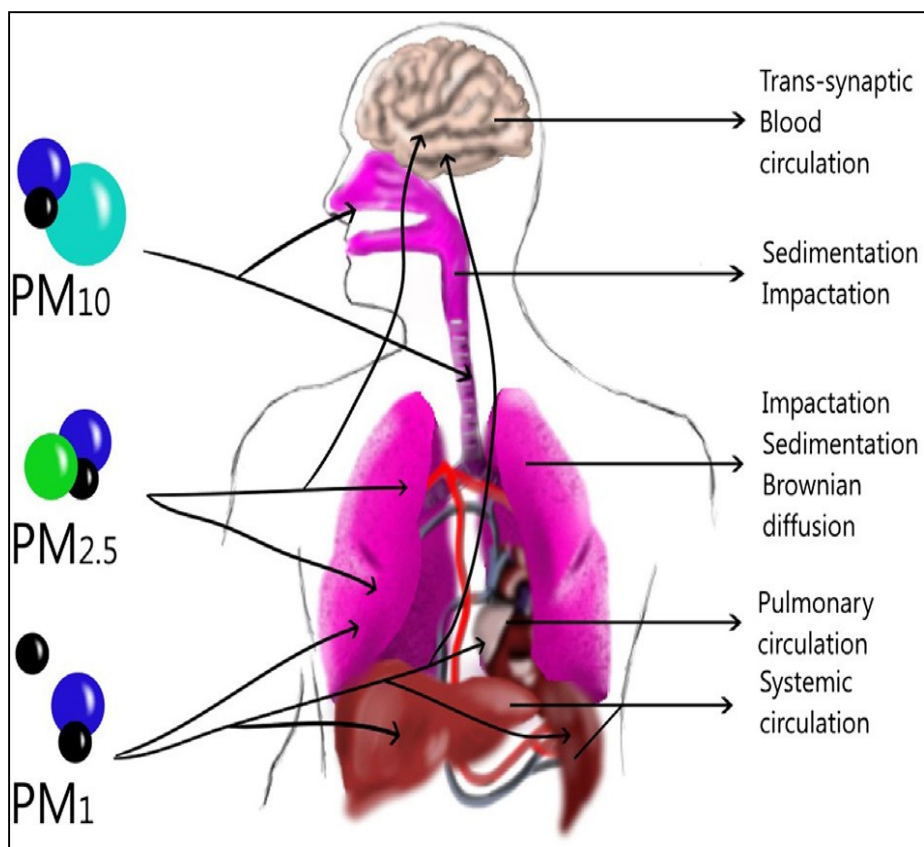


Figura 4. Partículas Y Su lugar de acción en el cuerpo humano.

Fuente. Falcón, Osornio, Sada y Segura (2016). Aeroparticles, Composition, and Lung Diseases. *Frontiers in Immunology. Science direct. El server journals* doi: 10.3389/fimmu.2016.00003 (p.4).

Falcón, Osornio, Sada y Segura (2016) refieren que: el Tamaño y dinámica de las partículas en el pulmón y otros Tejidos está determinado por el depósito de las mismas en los diferentes órganos; en las vías aéreas se depositan por Sedimentación; mientras que en las vías aéreas inferiores la difusión browniana puede depositarlos en los alvéolos. Las partículas ultrafinas pueden trasladarse a la circulación sanguínea y se depositan en el hígado, el bazo o el cerebro, aunque podrían también penetrar a través de mecanismos trans-sinápticos.

En conclusión, “La cantidad de contaminante depositado en el pulmón depende de su solubilidad, duración de la exposición y patrón respiratorio. El lugar donde se depositan las

partículas depende de su tamaño. Las partículas gruesas o extra-torácicas son atrapadas mecánicamente en las vías aéreas superiores, mientras que las partículas finas penetran al pulmón y por efecto de la fuerza de gravedad pueden acumularse en los bronquiolos y alvéolos. Las partículas ultrafinas, pueden incluso pasar al torrente circulatorio y a través de este alcanzar otros órganos” (Jiménez, 2011, p.29, citando a Nevers N. 1998). Esta afirmación, se mantiene vigente si analizamos el estudio reciente de Ljubimova et al (2018) quienes afirman que “La contaminación del aire está relacionada con la inflamación cerebral, que acelera la neogénesis tumoral y la neurodegeneración, aunque Los mecanismos moleculares que conectan la contaminación del aire con la patología cerebral son en gran parte desconocidos, parece depender de la composición química de la materia particulada (PM) en el aire” los investigadores hallaron diversas respuestas inflamatorias en los cerebros de ratas que fueron expuestas a diferentes situaciones de contaminación del aire por material particulado.

3.7 La Función Pulmonar y su relación con la contaminación

“En las últimas 2 décadas, más de 50 publicaciones han investigado los efectos a largo plazo de la contaminación del aire ambiente en la función pulmonar y la mayoría encuentra efectos adversos” (Gotschi Et al 2008, p.2). Recientemente, hadei et al. (2017) afirma en su estudio que “La exposición a largo plazo a material particulado con una aerodinámica diámetro inferior a 2,5 μm se asocia con la incidencia de cáncer de pulmón”. En capítulos anteriores hemos detallado los diferentes contaminantes centrándonos en el material particulado del aire, se han descrito a su vez, diversas consecuencias por la exposición al contaminante para la salud de los seres humanos en especial la salud respiratoria; Ahora bien, la evidencia indica que se deben cuantificar los efectos indeseables sobre los sistemas y órganos de los sujetos, todo ello con el fin de establecer la

magnitud de afectación que puede originar en este caso el aire contaminado. En el caso de salud respiratoria de especial interés en este trabajo, se debe abordar la función pulmonar desde una serie de conceptos fundamentales.

Partimos del hecho que el término “función pulmonar” refleja el grado de funcionamiento de los pulmones de una persona. “La función pulmonar es una medida importante de las enfermedades respiratorias en salud y un predictor de morbilidad y mortalidad cardiorrespiratoria” (Gotschi Et al 2008, p.2). Engloba todos los procesos fisiológicos que permiten la respiración

3.7.1 Definición del proceso de la respiración

La respiración es un fenómeno de intercambio de gases determinado por la acción fisiológica de los distintos órganos cardiopulmonares principalmente. En primer lugar, “El pulmón es un órgano cuya función primordial es el intercambio de gases, tarea que cumple inspirando aire ambiente, el cual es conducido a través de las vías aéreas -tráquea, bronquios y bronquiolos-, o sea a través del espacio muerto, hasta el alvéolo pulmonar, que es la unidad funcional. El alvéolo está rodeado de capilares pulmonares. La sangre que circula por estos capilares está separada del aire del alvéolo por una membrana extremadamente delgada, la membrana alvéolo-capilar, que permite el intercambio de gases por el fenómeno denominado difusión” (Patiño R., Celis R. y Díaz C., 2005, p.41), en segundo lugar El aire alveolar es el resultado de la mezcla del aire inspirado con el vapor de agua y con otros gases presentes en las vías aéreas entre ellos los contaminantes gaseosos o las partículas finas del aire ambiente.

Sabemos que “El proceso de intercambio de oxígeno (O₂) y dióxido de carbono (CO₂) entre la sangre y la atmósfera, recibe el nombre de respiración externa. El proceso de intercambio de gases

entre la sangre de los capilares y las células de los tejidos en donde se localizan esos capilares se llama respiración interna. (Thibodeau y Patton, 1998, p.294)

“El proceso de la respiración externa puede dividirse en 4 etapas principales:

- La ventilación pulmonar o intercambio del aire entre la atmósfera y los alvéolos pulmonares mediante la inspiración y la espiración
- La difusión de gases o paso del oxígeno y del dióxido de carbono desde los alvéolos a la sangre y viceversa, desde la sangre a los alvéolos
- El transporte de gases por la sangre y los líquidos corporales hasta llegar a las células y viceversa Y, por último,
- la regulación del proceso respiratorio”

(Fuente: Thibodeau y Patton, 1998, p.294)

3.7.2 Ventilación pulmonar.

Cuando hablamos de ventilación pulmonar nos referimos al proceso mecánico de juego de presiones que sucede en la caja torácica por medio del cual se genera el intercambio de gases. “Es la primera etapa del proceso de la respiración y consiste en el flujo de aire hacia adentro y hacia afuera de los pulmones, es decir, en la inspiración y en la espiración” (Thibodeau y Patton, 1998, p.294), por su parte, El Intercambio de Gases consiste en “el ingreso de oxígeno a la sangre, por su presencia a mayor presión parcial en el alvéolo y la eliminación de bióxido de carbono, por su presencia a mayor presión parcial en la sangre venosa” (Patiño R., Celis R. y Díaz C., 2005, p.4)

En consecuencia, “El flujo de aire hacia adentro y hacia afuera de los pulmones depende de la diferencia de presión producida por una bomba. Los músculos respiratorios constituyen esta

bomba y cuando se contraen y se relajan crean gradientes de presión” Thibodeau y Patton (1998). Las presiones en el sistema respiratorio pueden medirse en los espacios aéreos de los pulmones (presión intrapulmonar) o dentro del espacio pleural (presión intrapleural). Debido a que la presión atmosférica es relativamente constante, la presión en los pulmones debe ser mayor o menor que la presión atmosférica para que el aire pueda fluir entre el medio ambiente y los alvéolos. Para Patiño R., Celis R. y Díaz C., 2005 (p.41):

- ❖ *La inspiración:* obedece al aumento de volumen del tórax producido por la contracción del diafragma y de los músculos intercostales; los músculos accesorios son los escalenos (elevan la 1ª y 2ª costillas) y los esternocleidomastoideos (elevan el esternón). El principal músculo respiratorio es el diafragma. Por su parte “Durante la inspiración, la contracción del diafragma y de los músculos inspiratorios da lugar a un incremento de la capacidad de la cavidad torácica, con lo que la presión intrapulmonar se hace ligeramente inferior con respecto a la atmosférica, lo que hace que el aire entre en las vías respiratorias” Thibodeau y Patton (1998).
- ❖ *La espiración :* es el resultado de la retracción pasiva del pulmón y de los músculos por su elasticidad propia proveniente de las fibras elásticas del parénquima pulmonar y de la tensión de superficie producida por el líquido que cubre el epitelio alveolar, todo lo cual tiende a colapsar el pulmón. A medida que esto sucede, la capacidad de la cavidad torácica disminuye con lo que la presión intrapulmonar aumenta con respecto a la atmosférica y el aire sale de los pulmones.

Además de las presiones inspiratorias y espiratorias, “El tórax es un espacio cerrado. Los pulmones son sostenidos por la presión negativa, o sea subatmosférica, de la pleura. La presión negativa de la cavidad pleural resulta de la tendencia del pulmón a retraerse y colapsar, en contra de la tendencia opuesta, a expandirse, de la pared del tórax. Esta presión negativa se conoce como presión intrapleural o intratorácica.” (Patiño R., Celis R. y Díaz C., 2005, p.42)

Conjunto a este proceso, “La inspiración es un fenómeno activo que debe sobrepasar la fuerza elástica del pulmón que tiende a mantenerlo contraído” (Patiño R., Celis R. y Díaz C., 2005, p.42). la acción opuesta entre la contracción del diafragma al generar el aplanamiento de la base del tórax, y la acción de contracción de los músculos intercostales y accesorios que resulta en elevación de las costillas por consiguiente en vectores de fuerza opuestos, aumenta el volumen pulmonar y disminuye la presión intrapleural causando en consecuencia el flujo de la inspiración, mientras que la espiración es un fenómeno pasivo que depende de las propiedades elásticas del parénquima pulmonar que por consiguiente tienden a la retracción, y de la tensión de superficie del líquido que cubre el alvéolo: necesita de poca o ninguna fuerza muscular. Lo que se traduce, en que “Existe, por consiguiente, una íntima relación entre la presión y el volumen... Esta relación es la *distensibilidad o compliancia* del pulmón o sea la resistencia a la expansión del pulmón. (Patiño R., Celis R. y Díaz C., 2005, p.42).

3.7.3 Trabajo respiratorio

Cuando hablamos del trabajo respiratorio hacemos referencia a la fase activa del proceso en la cual existe un mayor gasto energético “Ya hemos señalado que durante la respiración tranquila normal toda la contracción de los músculos respiratorios se produce durante la inspiración; la

espiración es casi totalmente un proceso pasivo producido por el retroceso elástico de los pulmones y de la caja torácica. Así, en condiciones de reposo los músculos respiratorios normalmente realizan un «trabajo» para producir la inspiración, pero no para producir la espiración. El trabajo de la inspiración se puede dividir en tres partes:

- ❖ El trabajo necesario para expandir los pulmones contra las fuerzas elásticas del pulmón y del tórax, denominado trabajo de distensibilidad o trabajo elástico;
- ❖ El trabajo necesario para superar la viscosidad de las estructuras del pulmón y de la pared torácica, denominado trabajo de resistencia tisular, y
- ❖ El trabajo necesario para superar la resistencia de las vías aéreas al movimiento de entrada de aire hacia los pulmones, denominado trabajo de resistencia de las vías aéreas” (Guyton A. y Hall J., 2011, p 468).

3.7.4 Volúmenes y capacidades pulmonares.

La ventilación pulmonar puede estudiarse registrando el movimiento del volumen del aire que entra y sale de los pulmones. Para facilitar la descripción de los acontecimientos de la ventilación pulmonar, el aire de los pulmones se ha subdividido en cuatro volúmenes y cuatro capacidades.

- ❖ *Volúmenes pulmonares* son los siguientes (resumen de Guyton A. y Hall J., 2011, p 469):
 - 1) *volumen corriente* es el volumen de aire que se inspira o se espira en cada respiración normal; es igual a aproximadamente 6 a 8ml por kg de peso del individuo.
 - 2) *El volumen de reserva inspiratoria* es el volumen adicional de aire que se puede inspirar desde un volumen corriente normal y por encima del mismo cuando la persona inspira con una fuerza plena; habitualmente es igual a aproximadamente 3.000 ml.

- 3) *El volumen de reserva espiratoria* es el volumen adicional máximo de aire que se puede espirar mediante una espiración forzada después del final de una espiración a volumen corriente normal; normalmente es igual a aproximadamente 1.100 ml.
- 4) *El volumen residual* es el volumen de aire que queda en los pulmones después de la espiración más forzada; este volumen es en promedio de aproximadamente 1.200 ml.
- ❖ *Capacidades pulmonares.* En la descripción de los acontecimientos del ciclo pulmonar a veces es deseable considerar dos o más de los volúmenes combinados. Estas combinaciones se denominan capacidades pulmonares son las siguientes (resumen de Guyton A. y Hall J., 2011, p 469):
- 5) *La capacidad inspiratoria:* es igual al volumen corriente más el volumen de reserva inspiratoria. Esta es la cantidad de aire (aproximadamente 3.500 ml) que una persona puede inspirar, comenzando en el nivel espiratorio normal y distendiendo los pulmones hasta la máxima cantidad.
- 6) *La capacidad residual funcional:* es igual al volumen de reserva espiratoria más el volumen residual. Es la cantidad de aire que queda en los pulmones al final de una espiración normal (aproximadamente 2.300 ml).
- 7) *La capacidad vital:* es igual al volumen de reserva inspiratoria más el volumen corriente más el volumen de reserva espiratoria. Es la cantidad máxima de aire que puede expulsar una persona desde los pulmones después de llenar antes los pulmones hasta su máxima dimensión y después espirando la máxima cantidad (aproximadamente 4.600 ml).

8) *La capacidad pulmonar*: total es el volumen máximo al que se pueden expandir los pulmones con el máximo esfuerzo posible (aproximadamente 5.800 ml); es igual a la capacidad vital más el volumen residual.

Todos los volúmenes y capacidades pulmonares son aproximadamente un 20-25% menores en mujeres que en varones, y son mayores en personas de constitución grande y atléticas que en personas de constitución pequeña y asténicas. La grafica 2 representa mediante un esquema cada uno de estos aspectos.

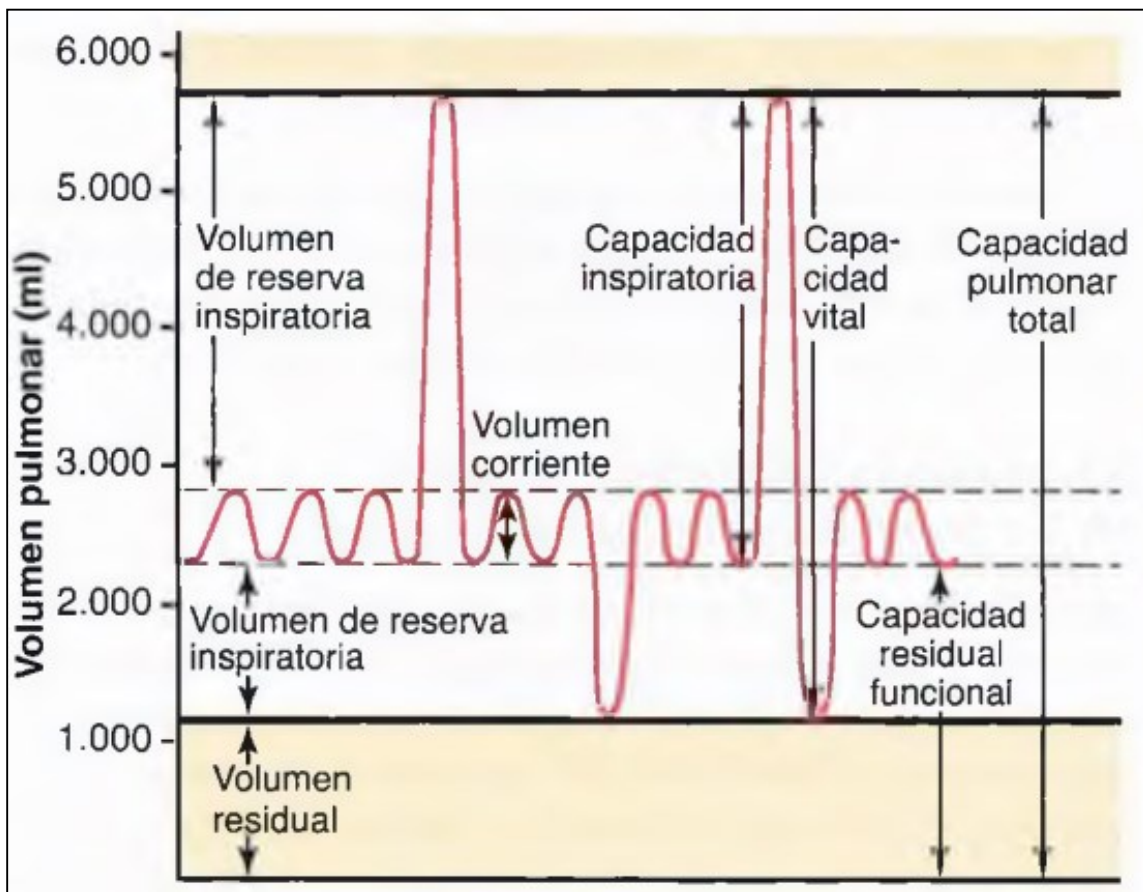


Gráfico 2 Esquema de volúmenes y capacidades pulmonares

Fuente: (Guyton A. y Hall J., 2011, p 469)

3.7.5 Concepto de espirometria.

“Un método simple para estudiar la ventilación pulmonar consiste en registrar el volumen de aire que entra y sale de los pulmones, es lo que se llama realizar una espirometria” (Guyton A. y Hall J., 2011, p 469). De este modo, entendemos que “la espirometria es una prueba fisiológica que mide cómo el individuo inhala o exhala volúmenes de aire en función del tiempo... la señal primaria medida en esta prueba puede estar determinada como volumen o flujo, este examen es invaluable como una prueba de detección de general salud respiratoria de la misma manera que la presión arterial proporciona información importante sobre el estado general de la salud cardiovascular, Sin embargo, por sí solo, la espirometria no conduce a los médicos directamente a un diagnóstico etiológico” (Panis et al 2017) se deben analizar demás condiciones particulares en los sujetos para establecer su diagnóstico.

Los equipos con los que se evalúa son los espirómetros, siendo las variables de Capacidad vital forzada (CVF) y volumen exhalado forzado del 1 segundo (VEF1) las más importantes a la hora del análisis. “la CVF es el volumen entregado durante una caducidad hecha con la fuerza y por completo posible a partir de la inspiración completa, y el espiratorio forzado... el VEF1 es el volumen entregado en el primer segundo de una maniobra CVF” (Miller et al, 2005, p.322).

Finalmente, se han establecido parámetros de funcionamiento mínimos para los espirómetros, sistemas de calibración para garantizar confiabilidad de los datos, sistemas de análisis de los datos, maniobras de ejecución, en fin. Esta investigación se basa en el documento de Miller et al (2005) en el cual, se describe todo lo concerniente a la espirometria desde la actualización de los parámetros establecidos por la American Thoracic Society, importante referente en el tema.

3.7.6 Relación de la contaminación con la espirometría

La contaminación del aire y la alteración con la función pulmonar ha sido un tema investigado.” Se sabe que la exposición a la Contaminación del Aire relacionada con el Tráfico (TRAP) exacerba las enfermedades respiratorias existentes” Bowatte et al. (2018). Diversos autores coinciden en afirmar que existe relación entre zonas de alta contaminación del aire y disminución en las variables espirométricas, e incluso mencionan como la contaminación ambiental exacerba síntomas de Asma en personas susceptibles a esta patología. Recientemente, Bowatte et al. (2018) afirma en su estudio que “Para los adultos de mediana edad, vivir a menos de 200 m en un camino principal (un marcador de exposición a al tráfico) influye tanto en el desarrollo como en la persistencia del asma” desde investigaciones en décadas anteriores como Korrick et al. (1999) se halló la espirometría como una herramienta útil en la evaluación de la función pulmonar y en la relación con la contaminación. en este estudio, se lleva a cabo una evaluación por medio de espirometría, comparando pre y post resultados de la prueba, y analizando la relación estadística con el material particulado del aire, en un grupo de excursionistas que visitan el monte Washington como actividad recreativa y actividad física al aire libre. En este estudio los autores inician partiendo del hecho que este sitio se encuentra en una zona de contaminación del aire que supera los límites establecidos. Una vez realizados los análisis de los resultados el estudio sugiere que una fracción sustancialmente aumentada de la población que realizó ejercicio en el monte tuvo disminuciones significativas en función pulmonar, menor al 10% en las variables FEF25, VEF1 y CVF. Los investigadores concluyen que el gran número de visitantes que participan realizando ejercicio al aire libre en esta área, está en riesgo de efectos agudos para la salud relacionados con la exposición a la contaminación ambiental por material particulado y ozono. Afirman que, Incluso sin

considerar las diferencias en la susceptibilidad individual, las estimaciones del efecto observado son notables por haber ocurrido entre los excursionistas sanos.

De igual manera, Panis et al (2017) en un estudio que compara los resultados espirométricos en adultos sanos obteniendo mediciones anuales de la función pulmonar de un programa rutinario de vigilancia de la salud del trabajador, y la correlación estadística con los niveles del Material particulado y el Ozono en una cohorte de 2449 empleados en Bélgica, determinan que el aumento de material particulado (MP10 / m³) el día del examen clínico se asoció con una CVF inferior de 18,9 ml (IC del 95%: -27,5 a -10,3, p <0,0001), con una VEF1 inferior de 12,8 ml (-19,1 a -6,5; p <0,0001) y un PEF inferior de 51,4 ml / s (-75,0 a -27,0; p <0. 0001)}, mientras que la relación FEV1 / FVC no mostró asociaciones. Los autores afirman además que un aumento de 10 µg de óxido nítrico (NO₂ / m³) en el ambiente, se asoció con una reducción en PEF (-66.1 ml / s (-106.6 a -25.6; p <0.001)). La investigación concluye que se encontraron asociaciones negativas entre las variaciones diarias en la contaminación del aire ambiente y CVF, VEF1 y PEF en adultos sanos.

Los anteriores estudios, nos muestran como las variables espirométricas son afectadas por los contaminantes del aire inhalados por los sujetos expuestos, con tendencia a la disminución de las capacidades y los volúmenes, afectando la función pulmonar. Si retomamos lo descrito por Oyarzún (2008). Respecto a que la alteración en la salud respiratoria por la contaminación está determinada por:

Dosis efectiva = [Concentración (se superan límites permitidos)] * [Tiempo de exposición (se aumenta el tiempo respirando un aire contaminado)]*· [Ventilación minuto (se incrementa la frecuencia respiratoria)]

Modificado de: Oyarzún (2008).

Podemos añadir además a lo anterior, la susceptibilidad individual de los sujetos, entendemos que la modificación en las variables descritas no se presentara en todos los sujetos de la misma manera, pero si como se evidencia en los estudios, tendrán una tendencia similar en comunidades particularmente expuestas. En conclusión, la espirómetros es una herramienta para detectar comportamientos de las variables de la función pulmonar en cada individuo, útil para evaluar riesgos de enfermedad respiratoria en comunidades expuestas a la contaminación del aire.

3.8 Mecanismos Fisiopatológicos.

Es importante considerar que el material particulado “representa mezclas complejas, y que algunos de los componentes presentes en ellas han sido caracterizados como tóxicos, se puede inferir que la composición de las partículas podría jugar un papel importante en la toxicidad relativa de partículas inhaladas... Existe hasta el momento poca información que nos permita definir el papel que juega la composición de las partículas en la exacerbación y/o desarrollo de enfermedades pulmonares tales como asma, bronquitis crónica y cáncer pulmonar, entre otras. (Alfaro 2004, p.8). “Episodios de contaminación atmosférica con altas concentraciones de material particulado se han asociado con mayores visitas a la sala de emergencias y hospitalización debido a la exacerbación de enfermedades como el asma y la pulmonar obstructiva crónica” Ji et al (2018)

En consecuencia, “La exposición a PM10 se asocia con incrementos en la morbilidad y la mortalidad en habitantes de ciudades contaminadas, aunque existe poca evidencia de los mecanismos involucrados y del papel que juega la composición de las partículas” (Alfaro 2004, p.9). Por ejemplo, “Tras la exposición a partículas de escape diesel producidas por vehículos a motor, estas pueden depositarse en la vía aérea humana sobrepasar la mucosa y pueden cruzar el epitelio y las membranas celulares, activando macrófagos residentes, posteriormente vinculados a diferentes receptores citosólicos que pueden conducir a la célula crecimiento y diferenciación” Ji el at (2018).

Sabemos que la principal ruta de entrada en contacto con los órganos del ser humano es por vías respiratorias. “La materia particulada se deposita fácilmente en bifurcaciones o ángulos Ramificaciones del árbol bronquial debido al flujo de aire y la turbulencia, Aumentando la interacción de PM con la membrana mucosa a través un proceso de impacto... Una vez depositados en una región determinada en el pulmón, puede penetrar o ser absorbido por la capa mucosa, generando daño local” (Falcón, Osornio, Sada y Segura, 2016, p. 4). Además, por la composición química de este contaminante, “puede producir daños en Todo el aparato respiratorio, aumentando la permeabilidad celular Y la reducción de la actividad mucociliar por la producción de ROS (estrés oxidativo) y Liberación de citoquinas” (Falcón, Osornio, Sada y Segura, 2016, p. 4).

Adicionalmente, la evidencia que se ha venido colectando en los últimos años sugiere que “diferentes componentes presentes en la contaminación atmosférica por PMs podrían jugar un papel importante en la promoción y perpetuación de respuestas inflamatorias o carcinogénicas” (Alfaro 2004, p.10). Recientemente, Betancur (2016), realizó una investigación Evaluando de la citotoxicidad y genotoxicidad del material químico en filtros PM2.5 de las estaciones de monitoreo

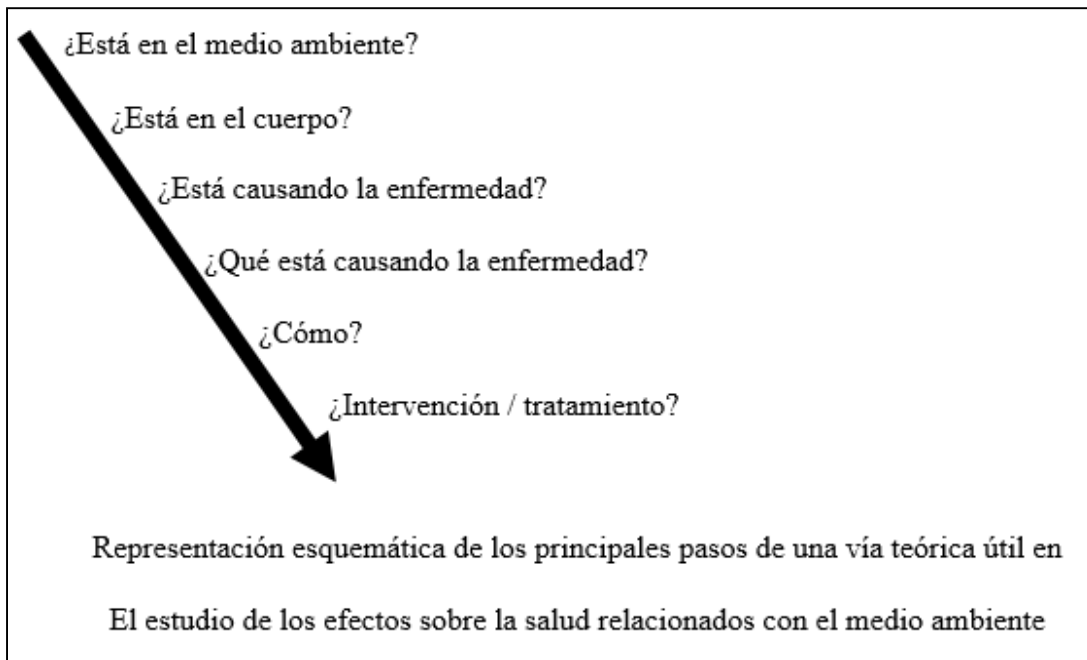
de la red de calidad del aire del Valle de Aburrá, en Colombia. En este estudio cada una de los cultivos de células de laboratorio fue sometido a distintas concentraciones de PM 2.5 encontrando quiebres del ADN inducidas por PM en las tres estaciones de monitoreo evaluadas. La concentración 30 $\mu\text{g}/\text{mL}$ mostró mayor daño genotóxico (65%) en el ensayo cometa, por lo anterior, se reafirma la idea que la contaminación del aire puede convertirse en factor de riesgo incluso para eventos cancerígenos en la salud humana.

Desde esa mirada, la composición del material particulado presenta una serie de sustancias químicas que ya han sido descritas como perjudiciales para la salud. “Por ejemplo, se sabe que metales tales como vanadio, níquel, y plomo se pueden encontrar presentes en muestras de PM10 (Alfaro 2004, p.10, citando a Osornio-Vargas et al. 2003). En este caso, Se sabe que estos metales se asocian con procesos pro-inflamatorios y cáncer; podríamos entender que la exposición de los sujetos a niveles por encima de los valores permitidos incrementan el riesgo de eventos no deseados para la salud humana, sin embargo, los “incrementos en los riesgos a la salud se presentan incluso cuando las concentraciones atmosféricas de las partículas se encuentran a niveles por debajo de los estándares de calidad aceptados (Borja-Aburto et al. 1997, Borja-Aburto et al. 1998). Esto, dado porque la dosis para desencadenar el efecto adverso no está determinada tan solo por el nivel del contaminante, sino por el tiempo de exposición y la susceptibilidad individual.

Así mismo, lo que se ha establecido en la evidencia, sugiere que “las asociaciones epidemiológicas con la mortalidad son más significativas cuando las partículas presentan un diámetro aerodinámico menor PM10 o PM2.5 y se asocian con incrementos de 1.83% o 1.48 % en el riesgo a morir por cada incremento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de las partículas” (Borja-Aburto et al. 1998,).

Así lo afirma Liati et al (2018), “Las partículas ultrafinas (<100 nm) relacionadas con el tráfico son de gran preocupación para el medio ambiente y la salud humana , ya que se supone que son más tóxicas que las partículas más grandes” No obstante, la composición global del material particulado varia en una zona u otra pues lo conforman varias sustancias, por ejemplo “el incremento en el riesgo de muerte en la ciudad de México en relación a la exposición a PST (número total de partículas) es de un 5.8% por cada incremento en 100 µg/m³ de partículas en la atmósfera” (Borja- Aburto et al. 1997). Esta afirmación coincide con Betancourt (2016) quien hallo diferentes respuestas celulares en los cultivos de laboratorio en tres diferentes lugares expuestas a la contaminación local. En cualquiera d los tres casos la respuesta era lesiva para los tejidos aunque diferencial. Por lo anterior, se infiere que cada región debe evaluar su propia calidad del aire y los posibles efectos en la salud.

Por consiguiente, debido a la gran variedad de efectos que han sido relacionados con la exposición a partículas urbanas en el aire ambiente, “es importante considerar cuales son las posibles vías que sigue una partícula luego de depositarse en el tracto respiratorio para desencadenar diferentes efectos” (Alfaro 2004, p.10). Es importante entender desde que mirada se analiza el posible efecto y como llegar a la profundidad en la comprensión de los mecanismos lesivos de estas sustancias contaminantes; para ello se plantea el siguiente esquema:



(Modificado de Gurjar, Molina y Ojha C, 2010, p. 252)

❖ *Entrada del contaminante por vía respiratoria.*

“Es evidente que el impacto principal de una partícula inhalada se encuentra en el tracto respiratorio. Dependiendo del tamaño aerodinámico, las partículas pueden llegar a las vías respiratorias superiores (ej. TSP), las vías respiratorias inferiores (ej. PM10) o los alvéolos (ej. PM2.5 y PM ultrafina) o pueden ser translocados fuera del tracto respiratorio y causar daño sistémico (nanopartículas)” (Gurjar, Molina y Ojha C, 2010, p. 253). Yang y Xiao (2018) recientemente publicaron un estudio en ratones en los cuales se aleatorizado en dos grupos: el grupo de exposición PM2.5 o No exposición. Allí los autores hallaron que los ratones en el grupo de exposición PM2.5 mostraron un aumento en el número de nódulos tumorales. Además este estudio también halló bacterias del tracto respiratorio superior de los ratones del grupo expuesto a PM 2.5 afirmando que el micro ecosistema del tracto respiratorio superior de los ratones portadores de tumores estaba perturbado por la exposición a PM2.5. Las afirmaciones anteriores,

indican que los distintos tamaños de las partículas pueden alojarse en diferentes órganos del cuerpo una vez son inhaladas como podemos en la figura 4

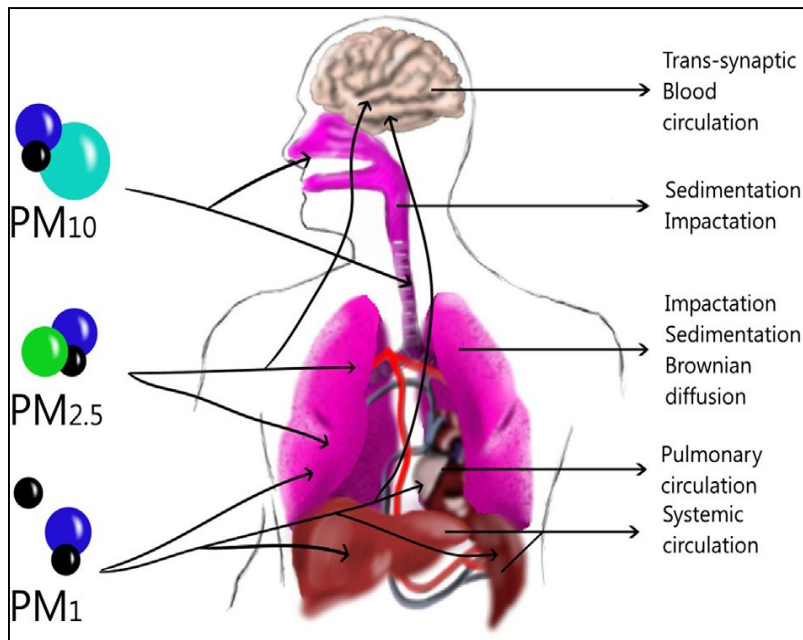


Figura 4. Tamaño de las Partículas Y Su lugar de acción en el cuerpo humano.

Fuente. Falcón, Osornio, Sada y Segura (2016). Aeroparticles, Composition, and Lung Diseases. *Frontiers in Immunology. Scienese direct. El server journals* doi: 10.3389/fimmu.2016.00003 (p.4).

De este modo, Falcón, Osornio, Sada y Segura (2016) refieren que: el tamaño y dinámica de las partículas en el pulmón y otros Tejidos está determinado por el depósito de las mismas en los diferentes órganos; Podemos ver cómo según el tamaño de las diferentes partículas estas pueden penetrar las barreras de protección del ser humano y alojarse en diferentes sitios en los que acorde a la exposición pueden generar diversas reacciones fisiopatológicas.

❖ *Reacciones Fisiopatológicas.*

Los mecanismos por medio de los cuales el material particulado puede generar alteraciones patológicas tienen que ver con la respuesta orgánica al contacto con sus componentes, “Debido a su localización, las células epiteliales de las vías respiratorias están expuestas directamente a

contaminantes inhalados y se ha demostrado que desempeñan un papel central en la respuesta a la exposición “ Zarcone et al (2016) “Una partícula al depositarse en el tracto respiratorio puede entrar en contacto directo con macrófagos o bien con células epiteliales, si entra en contacto con macrófagos, estos pueden fagocitar la partícula para eliminarla... pero la partícula es capaz de activar al macrófago induciendo la expresión de factores proinflamatorios, tales como el TNF α (factor de necrosis tumoral), IL-1 β , IL-6 o IL-8 (interluquinas)” (Alfaro citando a Becker et al. 1996, Moon y Becker 1999.), de esta manera, “Una vez depositado en una región en particular en el pulmón, puede penetrar o ser absorbido por la mucosa, generando daño local” (Falcón, Osornio, Sada y Segura (2016). P. 3). Este daño se produce en consecuencia cuando los mecanismos celulares de protección en el organismo son superados por el agente agresor. Podemos resumir este proceso con los siguientes pasos:

1. “La inflamación se considera que juega un papel central en una amplia gama de enfermedades resultados asociados con la exposición a diversos tipos de partículas inhalables” (overevik et al 2015) La liberación de factores proinflamatorios (como TNF α y las interluquinas) “pueden inducir diferentes respuestas que van desde el reclutamiento de más macrófagos, el desencadenamiento de hiperreactividad pulmonar, hasta la activación del endotelio vascular y su posible efecto cardiovascular” (Alfaro 2004)
2. El macrófago que fagocita a la partícula también podría morir, y si esta muerte es por necrosis se puede favorecer el efecto pro inflamatorio (Alfaro 2004)
3. “La activación de genes proinflamatorios y el inicio de la inflamación las reacciones por partículas o componentes de partículas solubles se pueden categorizar en formación directa De especies de oxígeno reactivo (ROS)” (overevik et al 2015)

Si la partícula entra en contacto con una célula epitelial puede provocar **muerte celular**, lo que podría inducir cambios en el tejido. (Alfaro 2004) en este proceso de modificación del tejido, “es importante destacar que la liberación de ROS actúa como un segundo mensajero central en un variedad de vías de señalización” (overevik et al 2015)

4. Las respuestas inflamatorias en las vías respiratorias dadas por la liberación de citocinas y otros mediadores proinflamatorios o pro-trombóticos pueden incluso llegar a la circulación sanguínea, “lo que lleva a la remodelación arterial o que afectan la estabilidad de la placa en las paredes arteriales” (overevik et al 2015) extendiendo el efecto del contacto del contaminante más allá incluso de las vías respiratorias.

❖ *Muerte celular.*

Como se mencionó anteriormente, dentro de los diferentes efectos biológicos descritos para las partículas contaminantes atmosféricas, se ha propuesto que son capaces de producir muerte celular por acumulación de sustancias ROS “que se considera un mecanismo central para la toxicidad de partículas, del mismo modo, la presencia de componentes tóxicos solubles en la superficie de la partícula, como los iones metálicos, compuestos orgánicos que incluyen hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y materiales biológicos tales como las endotoxinas o alérgenos bacterianos también son importantes mediadores de los efectos adversos de la exposición a partículas” (overevik et al 2015). En consecuencia, la muerte celular se ha descrito como citotoxicidad y apoptosis. “Es importante conocer el tipo de muerte celular que una partícula contaminante es capaz de inducir, ya que esto nos da un indicio de cuál es el tipo de mecanismo que se lleva a

cabo a nivel celular... la muerte celular es un proceso biológico que ha sido ampliamente descrito y que tiene una función importante tanto en procesos fisiológicos como patológicos. (Alfaro, 2004, p.16). La oncosis y la apoptosis son los dos mecanismos por los cuales se genera la muerte celular

- ❖ La oncosis es un proceso en el que la célula muere debido a fallas en las bombas iónicas de la membrana plasmática y generalmente se asocia con isquemia y posiblemente con agentes que interfieren con la generación de ATP e incremento en la permeabilidad de la membrana plasmática, así como la degradación inespecífica del DNA (Alfaro, 2004, p.16 citando a Manjo y Joris 1995,)
- ❖ La muerte celular por apoptosis se ha definido como un proceso dinámico, en el cual participan mecanismos precisos que siguen vías de transducción, activación de proteínas y expresión de genes específicos, así como la degradación internucleosomal del DNA (Alfaro, 2004, p.16 citando a Manjo y Joris 1995).

En general, ambos tipos de muerte celular culminan en lo que se conoce como necrosis celular. Cabe resaltar que el estrés oxidativo que genera el aumento proinflamatorio y la muerte celular puede ser dado por la reactividad biológica del proceso y por el aporte de sustancias químicas propias de la composición del contaminante, se entiende que “en niveles altos, el estrés oxidativo resulta en toxicidad a través de la perturbación del poro de transición de permeabilidad mitocondrial y la interrupción de la cadena de transporte de electrones que resulta en la apoptosis o necrosis celular” (overevik et al 2015).

❖ *Posibilidad de lesión por muerte celular.*

Las lesiones que se desencadenen tendrán relación directa con el tipo de muerte celular de esta manera “Dependiendo del tipo de muerte celular que se presente, será la clase de efecto observado. Por ejemplo, si tenemos muerte celular por apoptosis, esto podría desencadenar en procesos de remodelación del tejido pulmonar; Mientras que si tenemos principalmente muerte celular por necrosis, esto favorecerá procesos proinflamatorios. Incluso si las partículas son capaces de cruzar el epitelio y entrar en contacto con el tejido conjuntivo, es factible que se active la respuesta de fibroblastos que podrían desencadenar procesos de remodelación del tejido e incluso fibrosis” (Alfaro, 2004, citando a Uhal, 2002).

Otra posibilidad que se puede establecer es que las partículas dañen al DNA “existe la posible secreción de factores inmunosupresores” (Alfaro et al. 2003) esto “genera un ambiente que favorece en las células epiteliales el posible desarrollo de cáncer pulmonar; por otra parte, si las partículas son capaces de alcanzar el endotelio vascular es posible que estas induzcan la activación de la células endoteliales, lo cual puede provocar el reclutamiento de células inflamatorias por medio de la expresión de moléculas de adhesión tales como la selectina-E. También es posible que la activación del endotelio vascular provoque un desequilibrio de la expresión del factor tisular y la trombomodulina. Esto puede desencadenar en la formación de coágulos que provoquen daños vasculares”. (Nemmar et al. 2002), lo que puede provocar que dichas partículas alcancen órganos distantes y generando efectos en éstos. El resumen de lo descrito anteriormente puede verse reflejado en la siguiente figura 5:

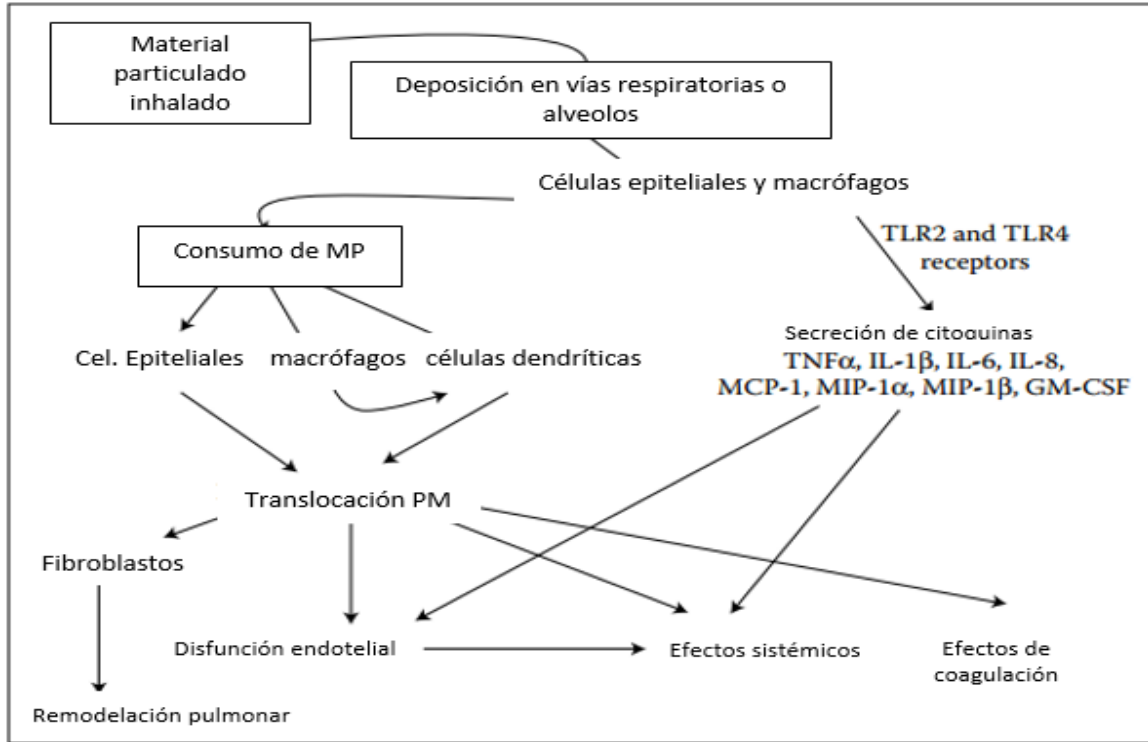


Figura 5. Estimación de la cadena de eventos del Material particulado depositado en las vías respiratorias
Fuente. Gurjar, Molina y Ojha (2010) Air Pollution, Ealth And Environmental Impacts. (Cap. 9) Cellular Mechanisms behind Particulate Matter Air Pollution– Alfaro et al. (p.254)

❖ Daño al DNA inducido por PM10

Poco se sabe del daño exacto al DNA que producen las partículas en células expuestas y si este daño al DNA desemboca en muerte celular. Autores como Alfaro (2004), Astudillo et al (2015), entre otros, realizan investigaciones in vitro, en los cuales someten cultivos celulares de laboratorio a muestras de fracción insoluble de material particulado del aire y analizan los cambios celulares que el contacto con este agente genera. Gracias a estudios como este, estas alteraciones al DNA han podido ser descritas, en donde se estima que pueden desembocar en la activación de la expresión de genes de reparación, o la muerte celular como principales respuestas.

❖ *Estrés oxidativo*

La exposición a partículas finas o ultrafinas induce estrés oxidativo (ROS). Las sustancias ROS producidas por la muerte celular y los agentes químicos propios de la composición del contaminante “actúan como segundos mensajeros endógenos centrales y participan en la regulación de procesos celulares complejos tales como transducción de señal mitogénica, fagocitosis, expresión génica, regulación de la proliferación celular, senescencia replicativa y apoptosis, y son efectores esenciales en el respuesta inflamatoria” (overevik et al 2015).

- Una forma primaria de ROS es el radical hidroxilo formado por peróxido de hidrógeno después de la exposición a PM.
- El PM_{2.5} puede producir superóxido que conduce a la formación de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) que es un radical libre principal en el pulmón; este puede producir daño celular por estrés oxidativo.
- Los macrófagos alveolares y las células epiteliales generan oxidantes que pueden aumentar el estrés ya mencionado.
- Estas vías de señalización activan la transcripción y el gen expresión de moléculas relacionadas con la inflamación, como TNF- α e IL-1 β , fibrosis y apoptosis
- El Estrés oxidativo puede producir daño al ADN dentro de los pulmones, como consecuencia, las células mueren”

(Resumido de: Falcón, Osornio, Sada y Segura, 2016.)

“De esta manera, la exposición puede aumentar los factores inflamatorios y el reclutamiento celular en el pulmón, que promueve alteraciones fisiológicas, lo que resulta en enfermedades pulmonares enfermedades como EPOC y asma... Del mismo modo, PM puede activar otros mediadores celulares que producen fibrosis pulmonar” además refiere “la Exposición aguda a PM puede activar respuestas inmunes; Sin embargo, la exposición crónica cambia este perfil mediante desencadenar citocinas pro-fibróticas además de la respuesta inmune” (Falcón, Osornio, Sada y Segura (2016)). El anterior autor también refiere que los componentes PM están asociados con diferentes daños, dado que la mezcla de los mismos es compleja y producirá o activará procesos inflamatorios, daño o ROS en el pulmón. “Todas esto cambia el daño del epitelio, aumentando la permeabilidad epitelial” Falcón, Osornio, Sada y Segura (2016)

En consecuencia, las diferentes respuestas fisiológicas dependerán del órgano diana al que llegue en contacto los componentes de PM, la concentración propia del material particulado, el tiempo de exposición, entre otros factores. Los efectos adversos para la salud parten del contacto en especial con el primer sistema de entrada, el sistema respiratorio, pero por la acción de intercambio de gases las partículas más pequeñas y los ases contaminantes pueden entrar en el sistema circulatorio y de esta manera alojarse en múltiples órganos. Una vez entran en contacto con las paredes celulares de los órganos diana, los sistemas de defensa del cuerpo inician la evacuación de dichas sustancias, sin embargo cuando la respuesta inmune no es suficiente o la composición del contaminante supera la capacidad de defensa, se genera la lesión celular e incluso la muerte. De allí se deriva que esta muerte celular sumado al estrés oxidativo que se forma en el ambiente puede influir múltiples daños incluso hasta desencadenar eventos

cancerígenos. Podemos concluir que el daño o la afectación es multisistémica como se presenta en la figura 6.

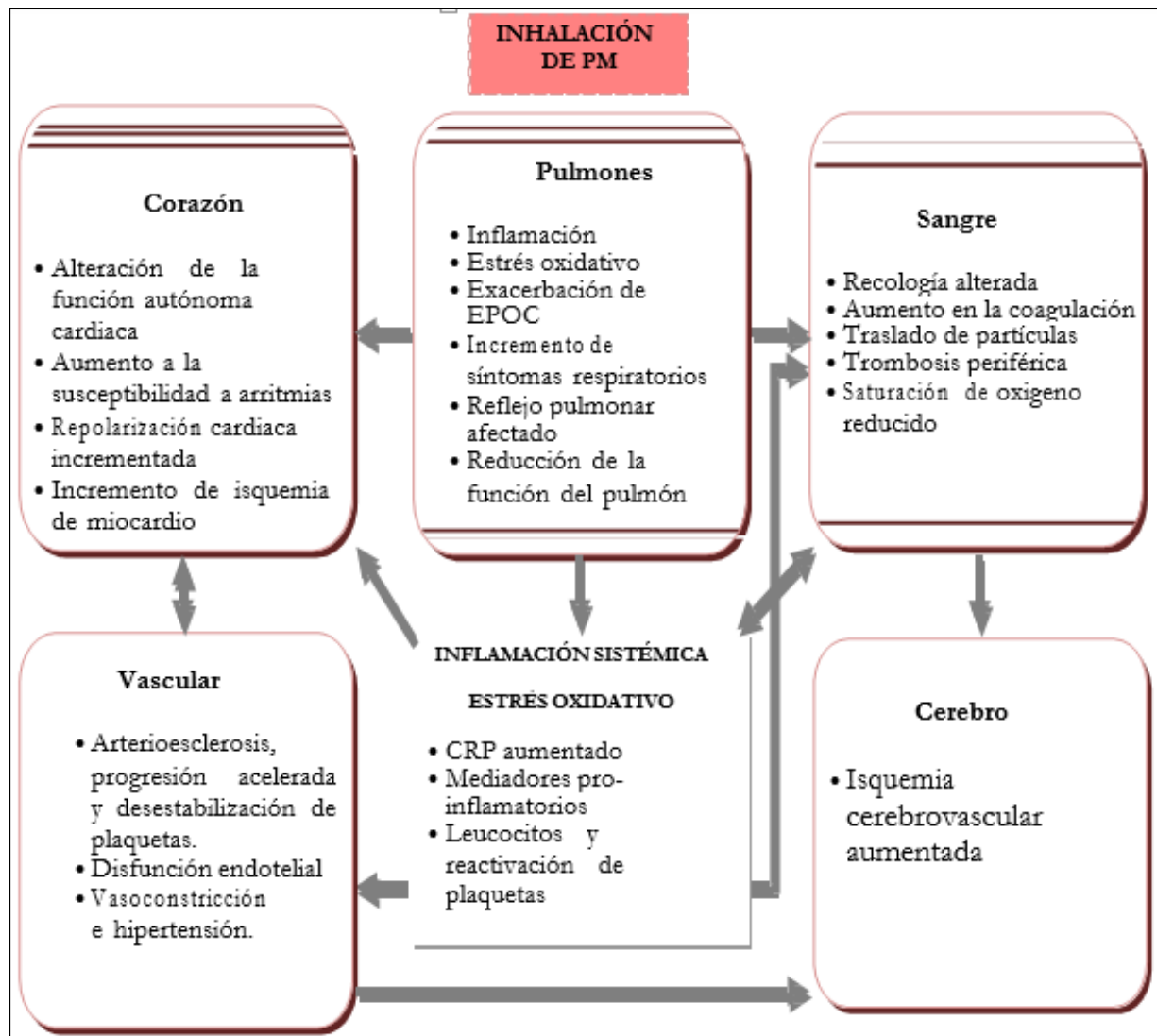


Figura 6. Fisiopatología potencial y efectos para la salud cardiopulmonar por exposición al MP

Fuente. (Hernández, 2011, p.26. Basado en Pope C, Dockery D, 2006.)

La siguiente figura 7 nos muestra los posibles caminos que a nivel celular pueden tomar los órganos una vez activan los procesos de defensa celular, para el caso del corazón, se cree que los contaminantes pueden incluso ser capaces de provocar arritmias, o bien que alcancen un órgano

tan distante como el hígado provocando la síntesis de proteínas y en consecuencia un aumento en la viscosidad de la sangre y el esfuerzo cardíaco:

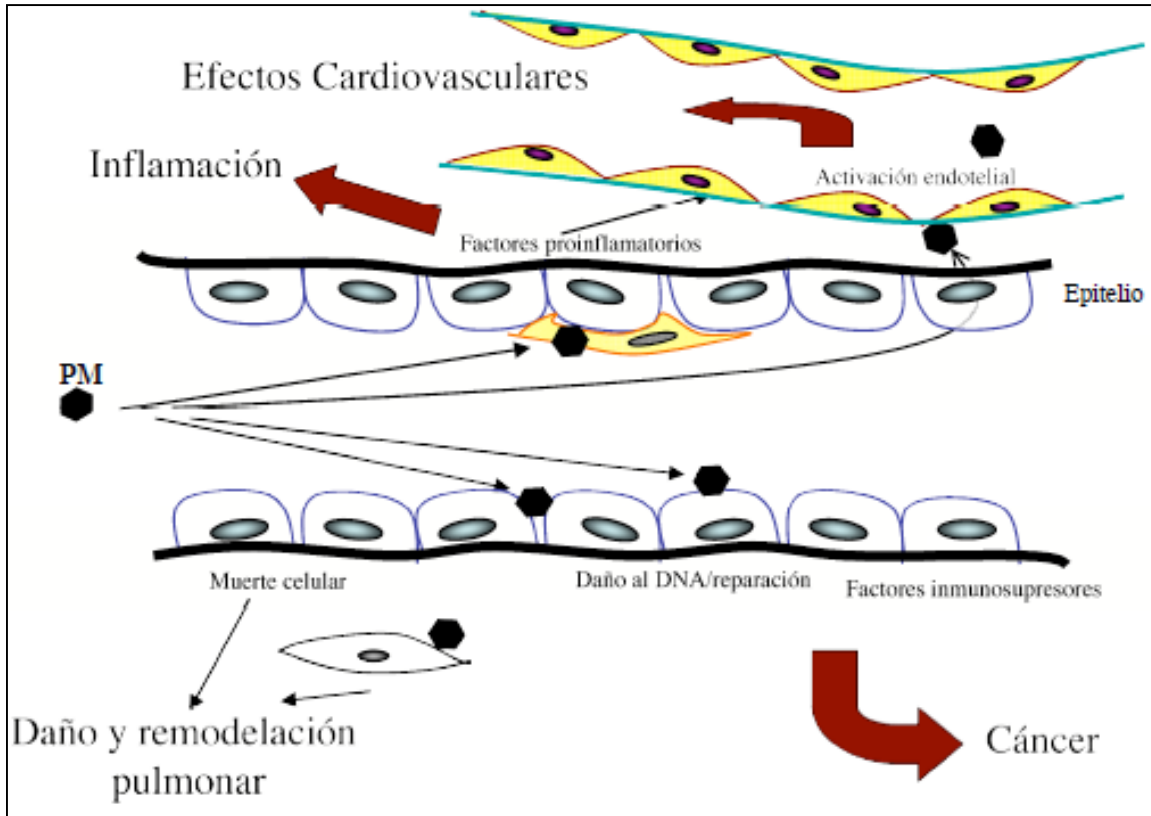


Figura 7. Representación teórica de los posibles efectos de las PM10 al ser inhaladas

Fuente. Alfaro (2004) efectos biológicos inducidos por aeropartículas de la ciudad de México. Tesis para obtener el grado de doctor en ciencias biomédicas. Universidad nacional autónoma de México (p.14)

La anterior figura trata de una “Representación teórica de los posibles efectos de las PM10 al ser inhaladas. Las partículas al depositarse en el tracto respiratorio pueden provocar daños al entrar en contacto con las células epiteliales o macrófagos, ya sea por inducir muerte celular, o daños al DNA, así como por activar a las células para que expresen factores proinflamatorios o inmunosupresores. Las partículas también podrían llegar hasta el tejido conectivo, entrar en contacto con el endotelio vascular o incluso introducirse a la circulación” Alfaro (2004).

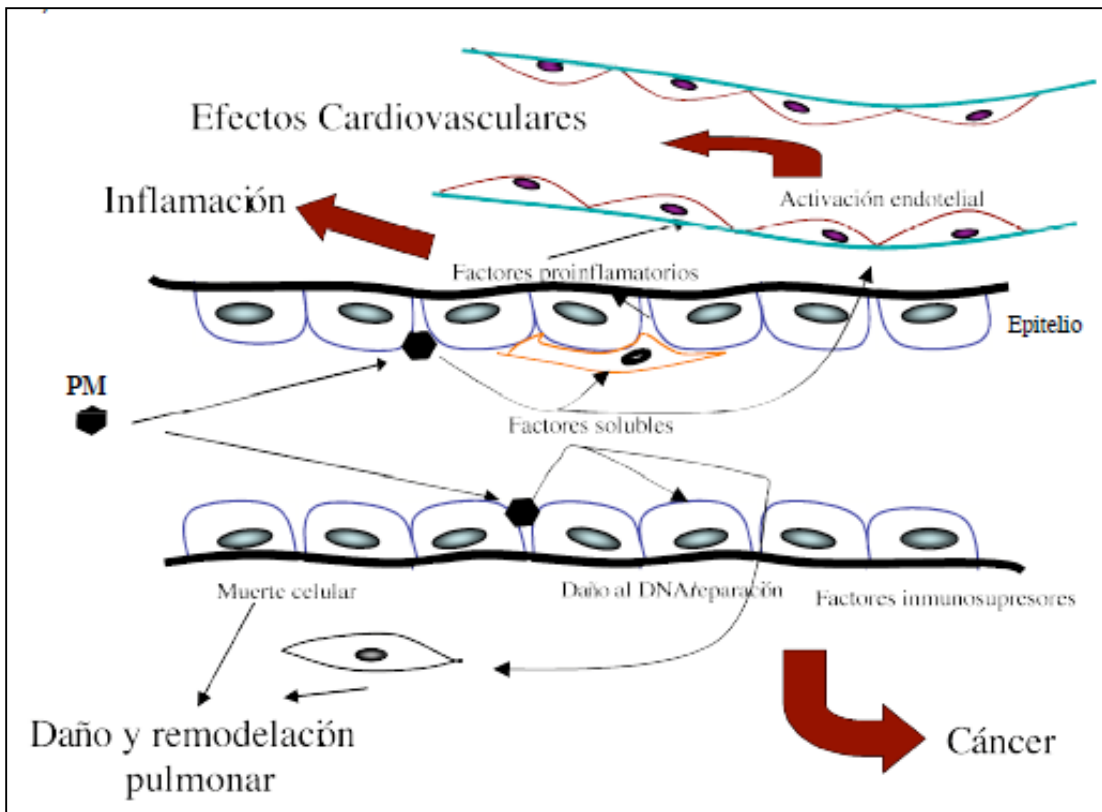


Figura 7. Representación teórica de los posibles efectos de las PM10 al ser inhaladas

Fuente. Alfaro (2004) efectos biológicos inducidos por aeropartículas de la ciudad de México. Tesis para obtener el grado de doctor en ciencias biomédicas. Universidad nacional autónoma de México (p.14)

Así mismo, “El daño provocado por las PM10 también ha sido relacionado con los componentes que pueden difundir a través de los tejidos. Se sabe que algunos componentes pueden difundir sin necesidad de que las partículas entren en contacto directo con las células para tener un efecto. Debido a esto, el modelo de daño inducido por las PM10 podría asociarse tanto a la partícula completa como a sus componentes solubles, o incluso a los insolubles” Alfaro (2004) “La pregunta es cuánto de los efectos inducidos por partículas (PM) se deben la formación de ROS derivado por sus componentes químicos y en qué medida los efectos inducidos por partículas surgen directamente a partir de la activación de la generación de ROS celular” (overevik et al 2015), en

cualquier caso la evidencia indica que cuando se supera la capacidad de respuesta celular, se generan daños de los tejidos incluso irreversibles.

3.9 Exposición a la contaminación del aire por ciclistas urbanos.

Existe cierta evidencia que indica que los diferentes medios de transporte en las ciudades pueden exponer de manera diferente a los sujetos a inhalar el aire ambiente. Para GILes y Kohele (2014) el modo de transporte puede afectar la exposición a la contaminación del aire. Esta se vuelve importante cuando se consideran los viajes pasivos y los viajes activos en actividades al aire libre, como los desplazamientos en bicicleta. Estos autores sugieren que los ciclistas que viajan en carriles para bicicletas en los principales centros urbanos pueden estar expuestos a más PM que los peatones. Tales diferencias en la exposición son probablemente atribuibles a la proximidad de los ciclistas al tráfico, y a los cambios en el patrón respiratorio por el ejercicio físico. Giles y Kohele (2014) afirma que durante el ejercicio, ocurren varios cambios fisiológicos que podría exacerbar los efectos de la contaminación del aire en la salud, describe como en niveles de ejercicio submáximos (a una potencia de salida de aproximadamente 100 W o ventilación de aproximadamente 35 L /min), la respiración cambia de predominantemente nasal a predominantemente oral, por lo que la barrera nasal no cumple su función y el aire contaminado puede entrar en las vías aéreas pulmonares de los sujetos. Lo anterior se suma al hecho del aumento de la ventilación minuto una vez se inicia el ejercicio en bicicleta.

3.10 Datos referentes al uso de la bicicleta en Bogotá.

Los siguientes datos fueron fundamentales en la elaboración del cuestionario aplicado en el presente trabajo de grado en cuanto al componente de “uso de la bicicleta”. Los siguientes gráficos

son tomados de Secretaria distrital de movilidad. (2016). *Informe final tomo VI, Modelo De Asignación De Transporte No Motorizado Bicicleta, Versión 3.*

“La participación de viajes en modo bicicleta es cada vez mayor, así lo demuestran los 784.502 viajes diarios en bicicleta estimados, según la encuesta de movilidad 2015, para Bogotá y 17 municipios vecinos, de los cuales aproximadamente el 70%, equivalentes a 575.356 viajes, tienen origen en la ciudad de Bogotá y que comparados con los existentes en 2011 de 441.135 viajes, representan un incremento del 24%” Secretaria distrital de movilidad. (2016).

Además, Bogotá cuenta con 392 kilómetros de ciclorrutas construidas y 13 km de bicicarril, presenta en promedio tiempos de viaje equivalentes a 25 minutos en bicicleta.

- ❖ En cuanto al perfil de viajes establecidos en días hábiles vs fines de semana el mayor flujo de ciclistas urbanos se da días hábiles, con horas pico de mayor aforo entre las 6:15 – 7:15 horas y las 17:30 – 18:30 horas; con disminución del flujo obteniendo horas valle entre las 10: 00 y las 11:00 horas.

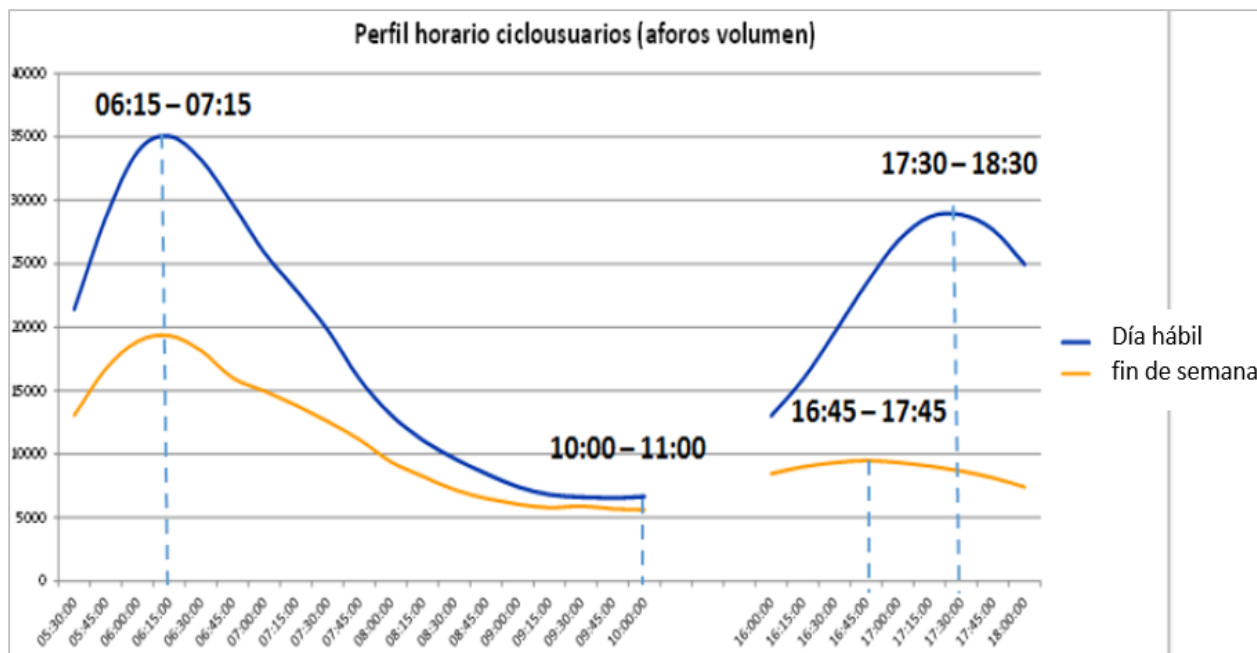


Gráfico 3: perfil horario ciclo usuarios

Fuente: Secretaria distrital de movilidad. (2016) Pp 22

- ❖ En cuanto a la distribución de bici usuarios por estrato socioeconómico, Bogotá presenta en días hábiles un 47% de usuarios estrato 2 quienes representan la mayoría.

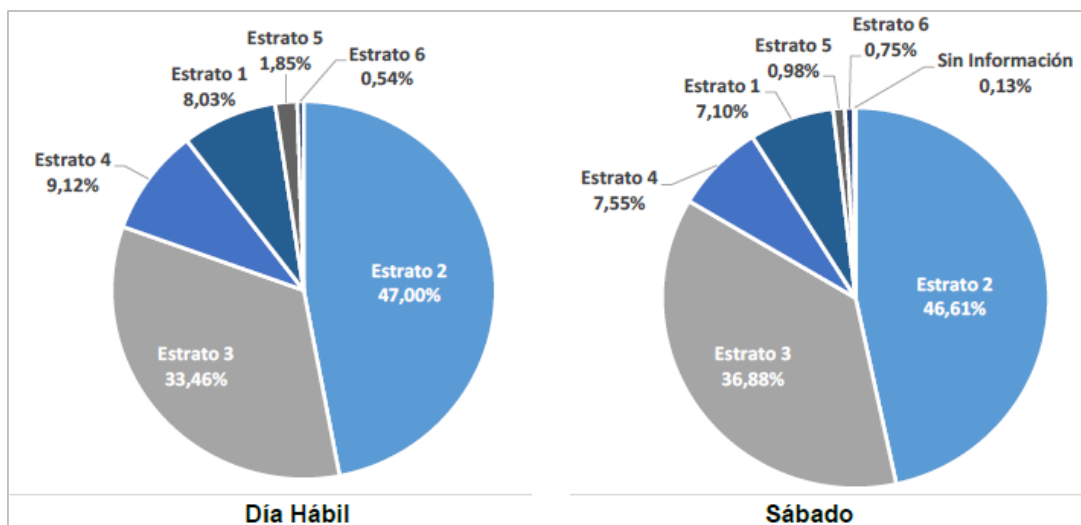


Gráfico 4: distribución de ciclousuarios por estrato socioeconómico

Fuente: Secretaria distrital de movilidad. (2016) Pp 28

- ❖ Por su parte, la distribución de bici usuarios por motivo del viaje presenta un 64% de uso de la bicicleta para desplazamientos al lugar de trabajo en días hábiles.

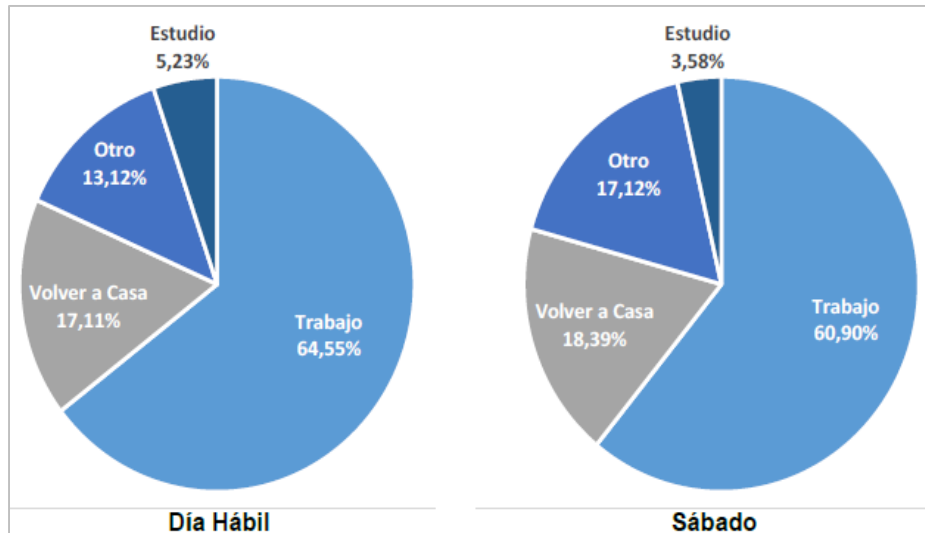


Gráfico 5: principal motivo de uso de la bicicleta por ciclousuarios
Fuente: Secretaria distrital de movilidad. (2016) Pp 34

3.10.1 Datos referentes al uso de la bicicleta en Kennedy.

Los siguientes datos fueron fundamentales para caracterizar el perfil de participantes del estudio. Los siguientes gráficos son tomados de Secretaria distrital de movilidad. (2016). *Informe final tomo VI, Modelo De Asignación De Transporte No Motorizado Bicicleta, Versión 3* y corresponden a cifras del uso de la bicicleta concretamente en la localidad Kennedy.

- ❖ La localidad Kennedy en la ciudad de Bogotá, cuenta con 52.5 kilómetros de ciclo rutas para el desplazamiento de los ciclistas urbanos siendo la segunda localidad en extensión por debajo de Suba que tiene 58.9 Km.

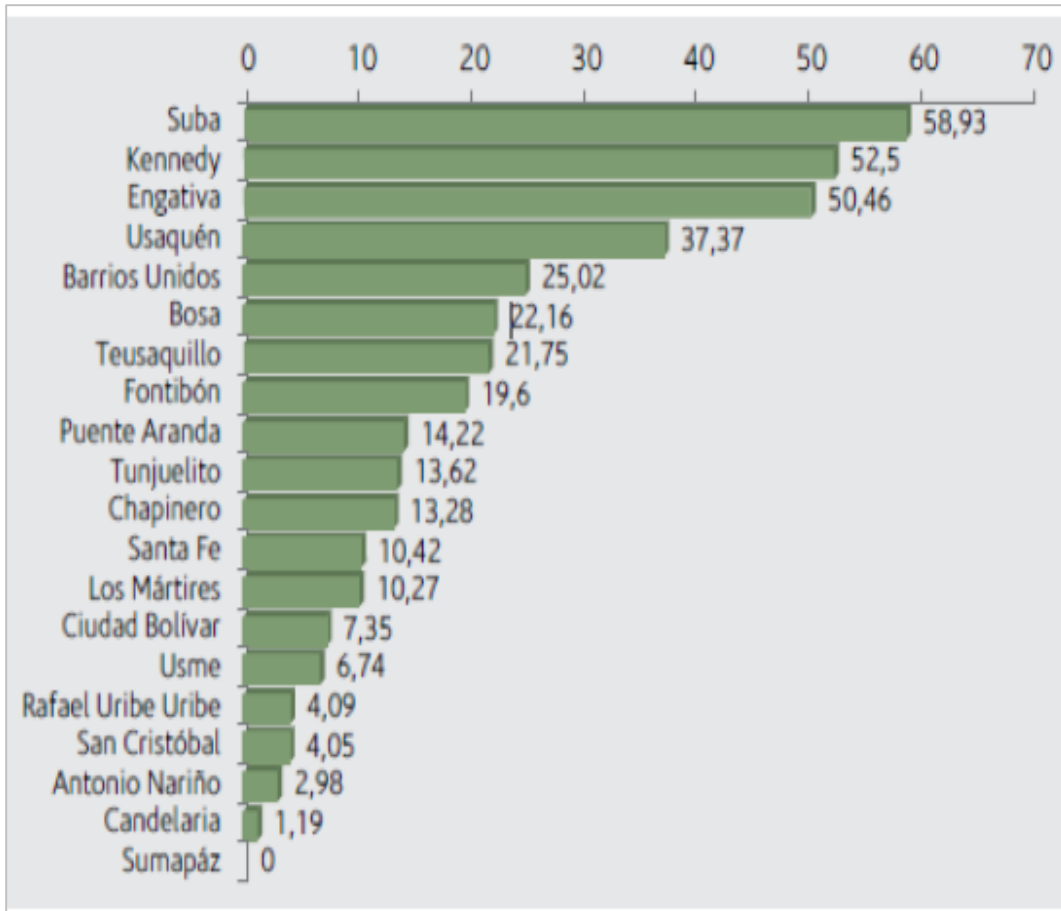


Grafico 6: Longitud de ciclorutas por localidades

Fuente: Secretaria distrital de movilidad. (2016) Pp 34

- ❖ Adicionalmente, en la cicloruta ubicada a 20 metros de la estación de monitoreo de calidad del aire, punto donde se realiza la presente investigación, hallamos descrito en la siguiente tabla 7, un volumen diario de 1895 viajes en bicicleta. Creemos que los viajes realizados dependiendo la hora del día y la concentración del PM, el uso de máscaras de protección nasal o no, ente otros factores exponen a los viajeros al aire que presenta la localidad.

Tabla 7:

Volumen diario de viajes por cicloruta

CODIGO INTERSECCIÓN	DIRECCIÓN	DIRECCIÓN	LUGAR DE AFORO	VOLUMEN DIARIO
3493	AUTONORTE	AC 170	CICLORUTA	420
4428	AC 145	AK 104	CICLORUTA	1.315
9047	AV BOYACA	AC 138	CICLORUTA	1.735
14816	AC 127	AUTONORTE	VIA	2.236
14816	AUTONORTE	AC 127	CICLORUTA	2.084
15151	AK 19	AC 127	CICLORUTA	595
15798	AK 86	AC 80	CICLORUTA	2.533
16057	AK 7	AC 128	VIA	553
17606	AC 72	AK 86	CICLORUTA	1.899
19124	AC 100	TRANVERSAL 60 SUBA	CICLORUTA	776
19513	AK 72	AC 72	CICLORUTA	3.809
20173	AC 26	TV 96	VIA	4.787
32883	AK 68	AC 6	CICLORUTA	7.453
32883	AK 68	AC 9	CICLORUTA	5.505
33144	AK 86	AVENIDA CALLE 43 S	CICLORUTA	1.895

Fuente: secretaria distrital de movilidad. (2016) Pp 44. Se resalta la información pertinente para el punto de investigación.

5. Métodos.

Para el análisis acerca de la relación estadística entre el material particulado presente en el aire ambiente, la función pulmonar y el uso de la bicicleta se permite plantear la siguiente investigación:

4.1 Diseño de la investigación.

Se plantea para desarrollar la investigación a través de **estudio descriptivo de correlación de corte transversal**, por tratarse de un diseño en el cual se adapta a las condiciones propias de este

proyecto, tales como, no habrá intervención o manipulación de los factores de estudio, se observara lo que sucede en un punto de movilidad de ciclistas al aire libre, en el cual el ambiente tiene unas condiciones puntuales, y se describirá como se encuentra la función pulmonar de las personas en este momento específico (transversalidad). En consecuencia, se buscan relaciones o correlaciones pero no asociaciones causales. Este proyecto se considera como un primer paso para establecer hipótesis de estudios posteriores respecto a la contaminación del aire y la salud de las personas expuestas, por lo cual no se parte de una hipótesis sino se pretende llegar a ella(s).

4.2 Población de estudio.

La población elegida son ciclistas frecuentes que se desplazan en la ciclo ruta de la localidad de Kennedy, su participación en la investigación estará acorde con los criterios de inclusión y de exclusión. Se escoge la localidad Kennedy ya que se encuentra entre las localidades de mayor contaminación del aire de la ciudad.

4.2.1 Tamaño de muestra.

Para el cálculo del tamaño muestral se tomara como referencia el estudio realizado por Chandrasekharan et al. (2015), Estos autores presentan una investigación de corte transversal acerca de la influencia del Material particulado en el aire ambiente y su asociación con alteraciones en la función pulmonar y problemas de salud respiratoria en personas que se ejercitan al aire libre en la Región Capital de la India; Encontrando en este estudio que la población que realiza ejercicio fue de 378 participantes. El cálculo del tamaño muestral se realiza con un alfa de 0,05, un nivel de confianza del 95 % y con una proporción del 10 % obteniendo una muestra de 101 sujetos los cuales serán medidos en esta investigación.

4.2.2 Criterios de selección de los participantes.

La selección de los participantes se hará directa en el sitio de la exposición, en un tramo de la ciclo ruta de la localidad Kennedy en Bogotá, se buscaran sujetos que se encuentren practicando actividad física en bicicleta en este punto. Cabe resaltar que este punto se selecciona por estar ubicado a 15 metros de la estación de monitoreo del aire. Para ello se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

4.2.3 Criterios de inclusión.

- Sujetos adultos, hombres de 18 a 60 años de edad que se encuentren realizando actividad física en la ciclo ruta en el momento de la investigación, sin problemas de salud actuales de ningún tipo tales como: cuadros virales, afecciones respiratorias, lesiones osteomusculares, tratamientos farmacológicos para enfermedades crónicas entre otras.
- No tener antecedentes de lesiones pulmonares o enfermedades cardíaco respiratorias.
- No deben presentar contraindicaciones absolutas para la realización de la Espirometría
- No tener una ocupación o labor que se considere factor de riesgo para alteraciones de la función pulmonar.
- No fumar o que refiera no haber fumado en los últimos tres años
- Con una trayectoria en la práctica de actividad física en bicicleta en las ciclo rutas de la ciudad de Bogotá (tiempo mínimo de practica 1 mes)

4.2.4 Criterios de exclusión.

- Afecciones de salud detectadas durante el periodo de investigación que impidieran la realización de protocolo de Espirometría, por ejemplo: lesiones osteomusculares, cirugías realizadas, infecciones o estados febriles.
- Fumador actual. Se considera fumador todo aquel que allá consumido al menos 1 cigarrillo en el último año.
- Personas que aunque actualmente no fumen, su consumo de cigarrillo en años anteriores superaba 5 cigarrillos diarios o 5 semanales.
- Sujeto diagnosticado por un médico con alguna de las siguientes patologías:
Asma, bronquitis crónica, Enfisema pulmonar, Tuberculosis pulmonar.
- Presencia de sintomatología respiratoria en el momento de la encuesta tal como: tos o expectoración crónica, disnea o sensación de ahogo.
- Presencia de otras enfermedades definidas como carcinoma pulmonar, fibrosis pulmonar, fibrosis quística.
- Antecedentes de cirugía de tórax o de pulmón
- Habitar en la ciudad de Bogotá menos de 1 año
- Sujetos con problemas cognitivos o psiquiátricos

4.2.5 Criterios de Inclusión de la Espirometría.

- Se tendrán en cuenta aquellas espirometría en las que se hallen 2 a 3 intentos de la maniobra confiables y reproducibles

4.2.6 Criterios de exclusión de la Espirómetros.

- Se excluirán las espirómetros en las cuales se observe por el evaluador imposibilidad por parte del sujeto para realizar la maniobra con las exigencias expuestas.

4.3 Procedimiento.

Se describe el procedimiento con los siguientes pasos:

4.3.1 Lugar de reclutamiento de la población.

Se determinó el sitio de investigación acorde con el “Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2011 – 2015” el cual es el informe más actualizado para el desarrollo de la presente investigación. En este reporte de calidad del aire la localidad de Kennedy constituye la zona de mayor contaminación del aire en la ciudad de Bogotá. En esta localidad se ubican 2 estaciones de monitoreo de calidad del aire de la secretaria de ambiente, una de ellas es la ubicada en el parque Cayetano cañizares a tan solo 15 metros de una de las ciclo rutas de mayor flujo de usuarios de la localidad. Allí se sitúa la logística del punto de evaluación de la función pulmonar por medio de Espirómetros, en este sitio la cercanía de la ciclo ruta con la vía de alto tráfico vehicular es de tan solo 1 metro reuniendo las características suficientes para desarrollar el estudio.

En cuanto a la logística del punto de evaluación, se tomó un recinto cerrado ubicado en el coliseo Cayetano cañizares (mismo lugar de la estación de calidad del aire) adonde se invitan a los sujetos que fueron entrevistados e informados en calle, una vez detienen su trayectoria en bicicleta y cumplieron los criterios de participación.

Se realizó la investigación en la franja horaria correspondiente de 4:00 pm a 7:00 pm considerada franja de alto tráfico vehicular. Esta franja se escoge luego del análisis previo del comportamiento de la contaminación evaluando los reportes de calidad del aire de la estación Kennedy. En estos reportes, esta franja horaria en conjunto con la correspondiente entre 6 am y 10 am se considera de alta concentración de material particulado y coincide con el alto flujo de ciclistas desplazándose por la ciclo ruta; el seguimiento total cumple con los días hábiles del 09 de octubre de 2017 y el 20 de noviembre de 2017, tiempo en el cual se completa el tamaño de la muestra calculado.

Finalmente, de manera simultánea en este periodo de tiempo se llevaran los registros de la red de calidad del aire respecto a las concentraciones de material particulado y las condiciones ambientales del momento en que se desarrolla la investigación los cuales son validados por la secretaria de ambiente.

4.3.2 Convocatoria los sujetos del estudio.

La convocatoria de los sujetos al estudio se realizó sobre la cicloruta ubicada en la Localidad Kennedy, en la dirección Transversal 86 # 40 – 33 sur, frente al parque Cayetano Cañizares, punto donde se ubica la estación de monitoreo de calidad del aire para esta zona; dicha convocatoria presento las siguientes fases.

Fase 1: Una vez ubicados en este punto, los sujetos que se desplazaban en bicicleta por la ciclo ruta eran llamados e informados acerca de la investigación. A cada individuo se le pregunto por el uso de la bicicleta, por el desplazamiento, por antecedentes de salud, por ocupación laboral y exposición a contaminantes, y por su condición de fumador o no. Aquellos ciclistas quienes

aceptaron participar en el estudio y que en esta primera entrevista preliminar afirmaron no ser fumadores, no trabajar en ocupaciones que los expusieran a contaminantes, usar de forma frecuente la bicicleta como medio de transporte, fueron seleccionados para ingresar a la fase 2.

Fase 2: Posteriormente, los sujetos firmaron el consentimiento informado previa aclaración de las dudas surgidas, y eran encuestados con el instrumento de selección de participantes con el cual se determinaba quien cumplía criterios de inclusión o quienes presentaban exclusión para participar en la investigación; Una vez se determinaba la condición de exclusión, se agradecía la participación y se explicaba al sujeto por qué no podría participar en la investigación; por otro lado, el sujeto cumplía criterios de inclusión daba paso a la siguiente fase.

Fase 3: los sujetos que cumplían los criterios de inclusión presentaban la espirometría cumpliendo el protocolo propuesto en esta investigación. Se les instruyó acerca del procedimiento, se realizó ejemplo hasta que el evaluador considerara aceptable

4.3.3 Instrumento de selección de los participantes.

La selección de los participantes de esta investigación se realiza por medio de una encuesta (**Ver formato de encuesta ANEXO 2**), la cual indagara respecto al uso de la bicicleta en estos escenarios, los antecedentes clínicos y respiratorios, ocupación y hábitos que afecten la salud respiratoria, percepción del sujeto respecto del aire inhalado al realizar actividad física en la ciclo ruta; esta encuesta permitirá ver cuales sujetos cumplen con los criterios de inclusión para esta investigación.

4.3.4 Firma del consentimiento informado.

Se solicitó a los sujetos seleccionados quienes aceptaron participar voluntariamente en la investigación, la lectura, resolución de dudas y firma del consentimiento informado (**ANEXO 1**),

en el cual los participantes, cuentan con la información suficiente para ingresar en el estudio y aprobar la intervención y el uso de información procedente de esta para su análisis y divulgación; posterior a esto, serán evaluados por medio de un cuestionario diseñado en tres categorías, la primera busca determinar la práctica de actividad física al aire libre utilizando bicicleta en la ciclo ruta, estableciendo el uso diario, semanal y en los últimos 6 meses de la bicicleta en estos escenarios; la segunda indagará acerca de factores asociados e historial de enfermedades respiratorias y sobre la ocupación del individuo; la tercera buscará establecer la percepción del sujeto sobre el aire que inhala cuando se desplaza por la ciclo ruta. Se incluirán aquellos sujetos adultos (18 – 60 años) que no presente otra exposición que determine alteración en su salud respiratoria (**ver ANEXO 2**).

4.4 Procedimiento espirómetros.

Para la toma del examen y análisis de los datos de la espirómetros se tendrán en cuenta los siguientes aspectos logísticos y metodológicos.

4.4.1 lugar del examen.

Se ubicó un recinto cerrado con el fin de evitar que las corrientes de aire ambiente puedan alterar los resultados de medición del espirómetro. En este sitio, se asigna una mesa con el espirómetro, una caja plástica con las boquillas desechables, una caja con los filtros antibacterianos, una caja de guantes de látex, la silla para ubicar al participante y un computador portátil con base de datos Excel y las respectivas carpetas para archivo de los documentos. En este punto se cuenta además con tallímetro y báscula para toma de altura y peso corporal, y un pulsómetro para toma de saturación de oxígeno y frecuencia cardíaca.

4.4.2 Toma de la Espirometria.

Una vez incluidas las personas en la investigación, se toma signos vitales con el fin de esperar hasta que su frecuencia cardiaca se encuentre entre 60 y 100 latidos por minuto, lo que informa de recuperación al ejercicio que venían realizando en la bicicleta. Posteriormente cada uno de los sujetos recibe una explicación de la maniobra Espirométrica y realiza un ensayo el cual es corregido y retroalimentado por los evaluadores hasta hallar un patrón correcto.

La Espirometria se realiza basado en un protocolo estandarizado de Miller et al (2005) con el cual se busca describir el comportamiento de la función pulmonar y para lo cual se utiliza el software **Winspro** correspondiente a la referencia del equipo espirométrico. Los datos espirométricos hallados se diligencian además del medio digital, en un formato en el cual se registran tres tomas y se selecciona la toma de mejor resultado, establecido por el software. En el formato manual también se registra el nivel de material particulado de la hora correspondiente a la toma (**ver ANEXO 3**).

4.4.3 Protocolo Espirometria.

Las consideraciones para la aplicación de la Espirometria tendrán en cuenta lo sugerido y definido en la *European Respiratory Journal* por los autores. Miller et al. (2005) acerca de la ***estandarización de la Espirometria.*** En este documento, se consideró la primera declaración dada por la *American Thoracic Society (ATS)* respecto de la Espirometria y posteriormente las respectivas actualizaciones. Por otro lado, también se menciona como en 1993 **la Sociedad Respiratoria europea (ERS)** adopta un primer documento al respecto de la Espirometria. Miller et al. (2005) reúnen las opiniones de la ATS y ERS en las consideraciones de esta prueba.

❖ Pasos del investigador

Los pasos que el investigador llevara serán los siguientes:

1. Comprobar la calibración del espirómetro
2. lavarse las manos
3. Preparar al sujeto en posición sedente
4. Evaluar frecuencia cardiaca en reposo
5. Explicar la prueba al sujeto seleccionado incluido en el estudio el investigador mostrara:

❖ Postura correcta con la cabeza levemente elevada

Inhalación rápida y completa

Posición de la boquilla

Exhale con fuerza máxima

❖ Prueba por parte del sujeto

1. El sujeto asume la postura correcta en sedente
2. El evaluador coloca el clip para la nariz y coloca la boquilla en la boca
3. El sujeto deberá Inhalar completamente y rápidamente con una pausa de 1 segundo en su máxima capacidad
4. Luego, el sujeto debe Exhalar al máximo hasta que no se pueda expulsar más aire mientras se mantiene una posición vertical con adecuada postura

Se tendrán en cuenta las espirómetros de los sujetos que cumplan con los siguientes parámetros:

- Desempeño: luego de la preparación de los participantes, se espera obtener los mejores resultados en la maniobra. Si el evaluador observa que el desempeño del sujeto no es el mejor, aun con la respectiva retroalimentación, estos valores no serán tenidos en cuenta.
- Aceptabilidad: se buscaran 3 maniobras realizadas correctamente y que además las curvas presentadas en el software y el análisis del programa arrojen aceptabilidad y reproducibilidad de la maniobra. En dado caso que esto no ocurra, se dará un tiempo de recuperación al sujeto de 5 minutos y se intentara nuevamente. Si el error es recurrente la prueba no será tenida en cuenta en la presente investigación.
- Reproducibilidad: se buscara que el software evalué que los tres mejores datos de las mejores maniobras tengan mínima variabilidad siempre que sea posible. Si no es posible hallar reproducibilidad en los datos, estos no serán tenidos en cuenta.
- Control de Calidad del Equipo: para el inicio de la investigación se verifico calibración actual del equipo. Previo a cada jornada se verifico funcionamiento del equipo y del software.

4.4.4 Adiestramiento de los evaluadores en la Espirómetros.

Previo al inicio de este proyecto, se establecieron 2 evaluadores para la Espirómetros quienes desarrollaron 6 jornadas de entrenamiento de la evaluación Espirométrica y de reconocimiento de los equipos. En primer lugar luego de la lectura pertinente acerca de los estándares espirométricos, las 3 primeras jornadas se realizaron pruebas de los equipos, control del tiempo estimado para realización de la prueba, control del manejo de la voz y de la motivación al evaluado, unificación de criterios de aprobación y de retroalimentación a la Espirómetros, unificación de los criterios de llenado de los cuestionarios. En estas tres jornadas fueron evaluados 8 estudiantes de pregrado de fisioterapia quienes accedieron de manera voluntaria con fines de aprendizaje.

Cabe resaltar, que los evaluadores también fueron evaluados uno por el otro con el fin de vivenciar la maniobra, y que esta estrategia permitiera una mejor retroalimentación al participante de la investigación. Posteriormente, se establecieron tres jornadas de evaluación en las cuales se analizó el lugar adecuado para instalar los equipos y el tiempo que tardaba el inicio de la prueba, esto con el fin de estimar tiempos aproximados para iniciar siempre a las 4:00 pm. Además, se realizaron 3 Espirómetros como pilotaje en el punto de toma del estudio las cuales fueron evaluadas al mismo tiempo por los 2 investigadores a manera de retroalimentación. En las pruebas de adiestramiento, se definió el uso para cada evaluador de una boquilla reutilizable pedagógica para explicar la maniobra. Finalmente, los datos de las anteriores pruebas previas no se incluyeron en el estudio y fueron eliminadas previamente para evitar datos confusos.

En las jornadas de entrenamiento se revisó la instalación del software respectivo, y la hoja de vida del espirómetro perteneciente a la Universidad Nacional el cual para octubre 1 de 2017 se encontraba calibrado y listo para ser utilizado con fines académicos.

4.5 Análisis de resultados Espirometricos.

Para la interpretación de los resultados, se tendrá en cuenta la comparación de los valores porcentuales observados o hallados en la prueba y aquéllos predichos o teóricos establecidos por el software bajo la fórmula *Teóricos - Crapo & Bass / Kundson* correspondientes a grupo étnico caucásico.

Una vez se obtiene los resultados de las espirómetros, estas son transcritas a una base de datos de Excel para su respectivo análisis e interpretación, Por lo cual se establecen los siguientes pasos:

- ❖ **Definir el patrón espirométrico:** se analizarán las variables obtenidas y se definirá el patrón obtenido calificando la espirometría en normal, obstructivo, restrictivo o mixto.

- ❖ **Definir el nivel de afectación:** una vez establecido el patrón se dará un calificativo en leve, moderado o grave.

4.5.1 Patrones espirométricos.

Se tendrán en cuenta las siguientes definiciones basadas en *Cuadernos De Atención Primaria (2015)*: “Existen sólo cuatro posibilidades en la interpretación de una espirometría: patrón obstructivo, patrón restrictivo, patrón mixto o espirometría normal”

- ❖ **Patrón obstructivo:** El paciente presenta una limitación al flujo aéreo, esto es, una obstrucción a la salida del aire (bien un broncoespasmo, fibrosis bronquial, etc.), lo que determina que el flujo espiratorio sea menor, compensándolo con un mayor tiempo de espiración (al aire le cuesta salir, pero si esperamos más tiempo acabará por salir todo). Esto se observa en la espirometría como: - Disminución del cociente FEV1 / FVC (menor del 70 %): Es el dato que define la obstrucción. - Disminución del FEV1 (menor del 80 %). - FVC normal (disminuido, menor del 80 %, en casos avanzados)
Otros datos: - Disminución del FEF25–75% (menor del 60 %): Marcador de obstrucción en vías aéreas pequeñas. - Disminución del PEF (menor del 80 %): Marcador de gravedad en cuadros obstructivos
- ❖ **Patrón restrictivo:** El paciente presenta una disminución de la capacidad para acumular aire (por alteración de la caja torácica, o por disminución del espacio alveolar útil, como en el enfisema o por cicatrices pulmonares extensas), sin embargo los flujos son normales, porque no existe ninguna obstrucción a su salida (el aire sale con normalidad, pero no hay mucho). En ocasiones se compara con un globo lleno de aire que esté menos inflado de lo normal, pero que no presenta ninguna dificultad para expulsar el aire que tiene, que es

menos del que debería. Esto se observa en la espirómetría como: - Disminución de la FVC (menor del 80 %): Es el dato que define la restricción. - FEV1 normal o disminuido (menor del 80 %) Cociente FEV1 / FVC normal o aumentado.

Otros datos: - FEF25–75% normal o disminuido (menor del 60 %), por las mismas razones que el FEV1. - PEF normal o disminuido (menor del 80 %), por las mismas razones que el FEV1

❖ **Patrón mixto:** Una combinación de los anteriores, generalmente por evolución de cuadros que al principio sólo eran obstructivos o restrictivos puros. Esto da lugar a que los hallazgos varíen según qué trastorno predomine en el paciente. FEV1 disminuido: Más que en cualquier otro patrón, ya que asocia el descenso propio de la restricción; FVC disminuida: Por el componente restrictivo. - Cociente FEV1 / FVC normal, aumentado o disminuido, según qué componente predomine más: Lo más frecuente es que esté también disminuido, por la suma de los descensos del FEV1 y la FVC.

Para facilitar la interpretación anterior, tomamos el resumen del siguiente algoritmo representado en la figura 8:

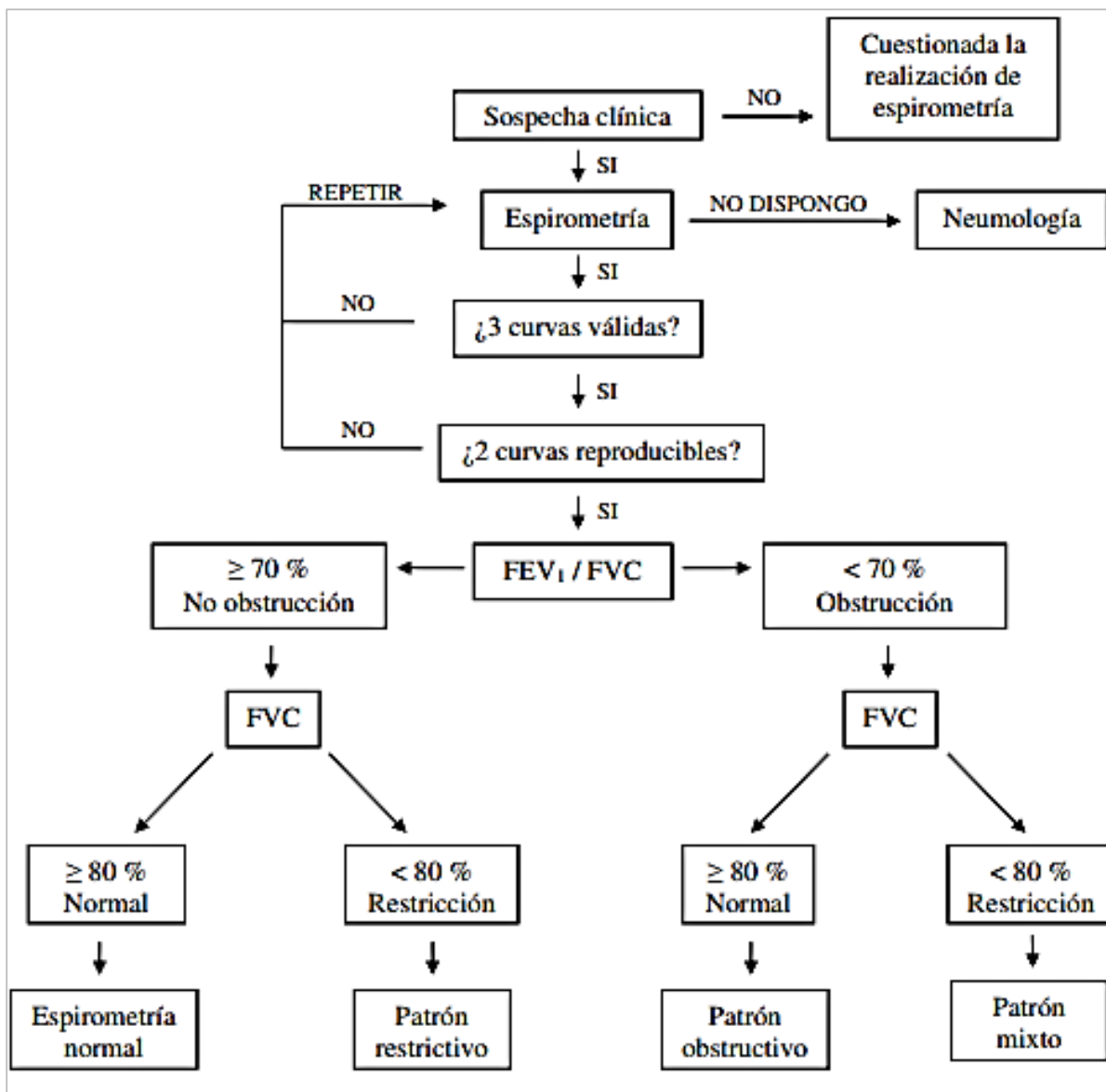


Figura 8. Algoritmo de interpretación de la espirometría

Fuente: Cuadernos De Atención Primaria (2015). Capítulo 4 (p.10).

4.5.2 Niveles de afectación.

Una vez definido el patrón daremos la respectiva clasificación según los resultados espirométricos basados en los criterios de la SEPAR y de la ATS resumidos por *Cuadernos De Atención Primaria (2015)* mediante la siguiente tabla 8:

Tabla 8:

Clasificación de gravedad según los resultados espirométricos

Normativas	Niveles de gravedad	Patrón obstructivo fijarse en la FEV1	Patrón restrictivo: fijarse en la FVC	Patrón mixto
SEPAR	Leve	Mayor o igual al 65 %	Mayor o igual al 65 %	Informar por separado del componente obstructivo (FEV1) y del restrictivo (FVC)
	Moderado	50 – 64 %	50 – 64 %	
	Grave	35 – 49 %	35 – 49 %	
	Muy grave	Menor del 35 %	Menor del 35 %	
	Leve	Mayor o igual al 70 %	Mayor o igual al 70 %	
ATS / ERS	Moderado	60 – 69 %	60 – 69 %	
	Moderado grave	50 – 59 %	50 – 59 %	
	Grave	35 – 49 %	35 – 49 %	
	Muy grave	Menor del 35 %	Menor del 35 %	

Fuente: Cuadernos De Atención Primaria (2015). Capítulo 4 (p.15):

4.6 Adiestramiento de los evaluadores en el cuestionario de selección.

En las jornadas de entrenamiento mencionadas anteriormente, también se realizaron ensayos y borradores del cuestionario de selección de los sujetos. Se estableció el tiempo el cual un sujeto podía tardar en ser encuestado. En las jornadas de ensayo en el sitio, se evaluaron las estrategias para captar la atención de los ciclo usuarios y permitir recibir la información.

5. Materiales.

Para el desarrollo de esta investigación los elementos y factores sujetos a este estudio cuentan con las siguientes características.

5.1 Preparación y descripción de los equipos.

A continuación se detalla la preparación y la referencia de los equipos utilizados para esta investigación.

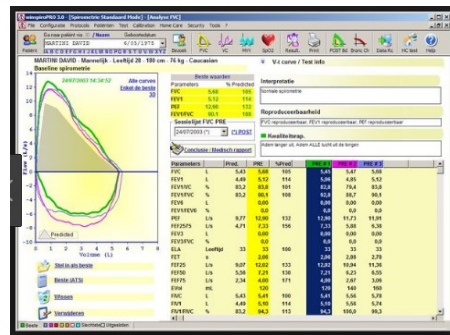
Descripción de los equipos:

- ❖ **Espirómetro**: Spirobank G MIR. espirómetro para test de función pulmonar el cual pertenece al laboratorio del movimiento corporal humano de la facultad de medicina de la universidad nacional y el cual es usado con fines netamente investigativos. El ingreso a la universidad corresponde al año de 2010. Es un equipo portátil sin embargo, tiene la opción de instalación del software WinspiroPRO PC el cual hace parte del equipo y permite la instalación en un computador. En la presente investigación se utilizó el espirómetro y se instaló el software en un computador portátil Dell con programación de Windows 7.

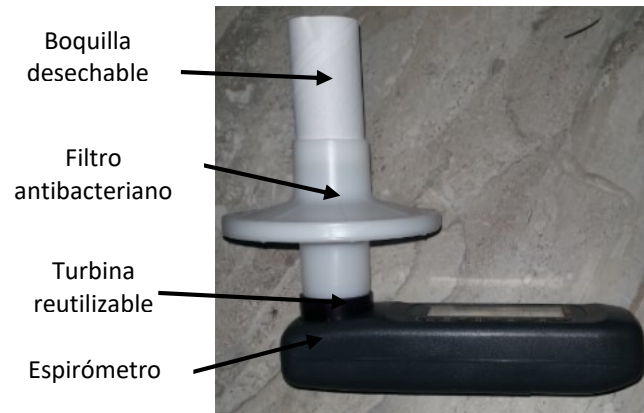


- ❖ Respecto de los accesorios para el espirómetro, se utiliza turbina reutilizable realizando la limpieza de la misma luego de cada espirometría realizada, Además del Cable de conexión al PC por puerto USB.

- ❖ **Software de instalación:** el software de instalación utilizado es el WinspiroPro PC MIR el cual permite visualizar la curva Flujo – volumen que realiza el sujeto cuando presenta la maniobra solicitada para la evaluación de la función pulmonar; además, describe el comportamiento de cada maniobra señalando la de mejor desempeño y generando un reporte escrito del examen.



- ❖ **Boquilla desechable:** para el presente estudio se adquirió 2 cajas de 200 boquillas desechables en cartón compatibles con espirómetros MIR. cada individuo utilizaba su propia boquilla y una vez terminada la evaluación se depositaban en bolsas rojas para su adecuado manejo como desechos.
- ❖ **Filtro Bacteriano Viral MIR:** para cada uno de los sujetos se utilizó una conexión entre la turbina reutilizable y la boquilla desechable por medio de un filtro antibacteriano compatible con las dimensiones de la boquilla y la turbina. La función del filtro era prevenir contaminación cruzada y posibles eventos adversos entre el uso del espirómetro por un paciente al otro, este mecanismo permite el flujo de aire atrapando las bacterias que puedan quedar en la turbina. Una vez se realizó la maniobra el filtro era eliminado a la caneca roja conjunto con las boquillas.



- ❖ Adicionalmente a los signos vitales, se verificó saturación periférica por medio de pulsoxímetro, el peso por medio de una báscula, la talla por medio de tallimetro, en el punto se utilizó guantes desechables quirúrgicos par por cada ciclista, clic nasal para cubrir la salida de aire por la nariz, bolsas rojas y papelería descrita.

Preparación de los equipos:

- ❖ En cada una de las jornadas previas se estableció la limpieza continua del equipo al finalizar la jornada.
- ❖ Se estableció una lista de chequeo rápida, con la cual se verifico los suficientes suministros para cada jornada, en donde se estimó un alcance de evaluaciones de mínimo 5 y máximo 20 personas. Esto con el fin de contar con e los insumos suficientes para evaluar los sujetos. La lista de chequeo con la que se verifico fue la siguiente:
- ❖ Los implementos se almacenaban en botiquín estéril y se agrupaban en bolsas de sellado por grupo de material.

A cada sujeto le correspondía un filtro antibacteriano, y una boquilla estéril

5.2 Evaluación y recolección de datos del material particulado.

Los datos correspondientes al material particulado serán tomados de la red de calidad del aire de Bogotá de la estación de monitoreo de la localidad Kennedy la cual queda a menos de 20 metros de la ciclo ruta por medio de la plataforma digital a la cual se accede por medio de la página web <http://ambientebogota.gov.co/red-de-calidad-del-aire> . Los datos a tener en cuenta se registraran junto con las variables espirómetricas en el anexo 3 y serán los siguientes:

Hora	PM10	PM2.5	Vel Viento	Dir Viento	Temperatura	Precipitación	Presión Baro	Humedad
	µg/m3	µg/m3	m/s	Grados	C°	mm	mmHg	%

Cabe destacar, que los datos de la estación fueron solicitados formalmente a la secretaria distrital de ambiente con respuesta positiva. Esta entidad entrego los registros en base de datos de Excel correspondientes al comportamiento de estas variables en los días del 09 de octubre de 2017 hasta el día 25 de noviembre de 2017. Con los promedios por hora de concentración de los contaminantes del aire.

5.3 Descripción de la estación de medición de calidad del aire de Kennedy.

Para efectos de la presente investigación, se solicitaron los respectivos permisos por parte de la secretaria de ambiente de Bogotá, para hacer uso de los datos promedio por hora que arroja la estación de monitoreo del aire Kennedy (figura 9).



Figura 9. Estación de monitoreo de calidad del aire Kennedy

Esta estación de monitoreo hace parte de la red de calidad del aire de Bogotá y cuenta con las siguientes características descritas en la tabla 9.

Tabla 9:

Características estación de calidad del aire Kennedy

Ubicación estaciones RMCAB							
Estación	Latitud	Longitud	Altitud	Localidad	dirección	Tipo de zona	Tipo de estación
Kennedy	4°37'30.18"N	74°9'40.80"W	2580 m	Kennedy	Carrera 80 # 40-55 sur	Urbana	De fondo
Contaminantes que mide la estación Kennedy							
Estación	PM ₁₀	PST	PM _{2.5}	O ₃	NO ₂	CO	SO ₂
Kennedy	X	-	X	X	X	X	X
Características de medición estaciones RMCAB							

Estación	Altura del suelo	Localización toma muestra	Altura punto de muestra al suelo	Altura viento al suelo
Kennedy	3 m	Zona Verde	7 m	10 m

Fuente: adaptado de la red de calidad del aire, informe por estación. Página web: iboca.ambientebogota.gov.co última visita

21/03/2018

6. Capítulo de consideraciones éticas.

Examinando lo estipulado en la resolución n° 8430 de 1993 Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud, Esta investigación se clasifica como: **investigación con riesgo mínimo** y no representa conflictos de tipo ético.

Acorde con las exigencias manifestadas en la resolución, y conforme a los **Artículos 14, 15 y 16** Se implementará un consentimiento informado (**ver ANEXO 1**) para los participantes en el cual se pondrá en conocimiento los procedimientos que se llevaran a cabo, tales como la Espirometría y la recolección de información correspondiente a los antecedentes respiratorios así como el uso diario de la ciclo ruta. Se solicitó además su autorización para el registro de información en formato audio, video y/o fotográfico. La participación de los sujetos es plenamente voluntaria y pueden retirarse de la investigación en el momento que lo requieran. Los individuos que participaran en el estudio serán sujetos adultos mayores de edad.

Para el manejo de la información se asegura la eliminación de cualquier dato o nombre que pueda permitir el reconocimiento de la identidad de los informantes. Dicho material se manejará garantizando su confidencialidad, siendo los datos aportados de uso exclusivo a los fines de este

proyecto de investigación, de forma que si se pretendiese hacer uso de esta información para cualquier otro fin, se solicitará la autorización expresa a los participantes.

La información, los datos y resultados obtenidos del estudio, serán utilizados por el investigador, con fines académicos y posiblemente para publicaciones posteriores, sin embargo se protegerá en todo momento la identidad de los participantes. El estudio se llevará a cabo de acuerdo a las recomendaciones dadas para Investigaciones de riesgo mínimo establecidas en la resolución n° 8430 de 1993 Título II, capítulo 1, artículo 11, numeral b.

Por último, se resalta que esta investigación tiene el aval del Comité de Ética de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia, cumpliendo el debido requisito y evaluación por parte del comité para su debida ejecución. Se declara que no existen conflictos de interés en el desarrollo del estudio ni ningún tipo de patrocinio económico para el mismo.

❖ ***Consideraciones previas para el desarrollo del Consentimiento informado.***

Este estudio se desarrollara según la legislación Colombiana de buena prácticas clínicas en su resolución 002378 del 2008 y la declaración de Helsinki, en los cuales se regula la confidencialidad y la identidad de los sujetos, los consentimientos informados, los métodos, aval ético y el bienestar de los individuos.

Antes de dar comienzo al estudio, los sujetos seleccionados para la investigación, recibieran información oral y escrita con respecto a los siguientes ítems de la investigación (Anexo A: consentimiento informado): el qué y por qué se realizó la investigación, el tipo y propósito de cada intervención, los objetivos, las medidas usadas, los posibles beneficios que podían obtener, además

de los riesgos y efectos secundarios que podían llegar a presentar debido a su participación en el estudio.

La participación será voluntaria y se solicitará al participante veracidad de la información suministrada. En este estudio se analizará una situación cotidiana y de ninguna manera se expondrá a los participantes al aire contaminado

7. Variables a analizar.

Las variables que se analizarán a lo largo de la realización del presente estudio son las siguientes:

7.1 Variable independiente.

Niveles de concentración de material particulado (MP) del aire ambiente correspondientes a PM 2.5 y PM 10. Datos obtenidos de la estación de monitoreo de calidad del aire de la localidad Kennedy de la secretaria de medio ambiente de Bogotá.

7.2 Variables dependientes.

Función pulmonar tomando como referencia de la espirómetros realizada:

- **VEF 1%: VEF1/CVF:** Es la relación entre Volumen Espiratorio Máximo en el primer segundo (VEF1) y la Capacidad Vital Forzada (CVF). Puede expresarse en valor absoluto o porcentual
- **VEF1:** Volumen espiratorio máximo del primer segundo

- **FEP:** flujo espiratorio pico, cantidad máxima de aire por segundo (flujo) que puede ser expulsada de los pulmones en forma forzada (soplando) durante la primera parte de la espiración
- **EF 25 75:** El flujo espiratorio medio (FEF25-75% o MMEF) se define como el flujo medido entre el 25% y el 75% de la maniobra de espiración forzada.

7.3 Variables Intervinientes.

Edad, Genero, Tiempo diario de uso de la bicicleta en ciclo ruta, Tiempo en meses del último año de uso de la bicicleta; hora del día de predominio de uso de la ciclo ruta las cuales serán registradas en la encuesta de selección de selección de participantes.

7.4 Definición de las variables.

La definición de las variables independientes, dependientes e intervinientes descritas para esta investigación está contemplada en la siguiente tabla 10 y nos permite observar el referente para los análisis e interpretación de los resultados obtenidos en la investigación.

Tabla 10:

Definición de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE:
Niveles de concentración de material particulado: (MP)

Definido como mezcla de partículas suspendidas en el aire las que varían en tamaño y composición dependiendo de sus fuentes de emisiones, se toman en cuenta partículas entre 2.5 y 10 micrómetros

Tipo de variable	Indicador	Índice	Unidad de medida	herramienta
Cuantitativa Continua	Cantidad de material particulado en el aire ambiente MP 10 y MP 2.5	Cantidad de material particulado en cada hora MP/hora	µm micrómetro	Estación de monitoreo de calidad del aire Bogotá localidad de Kennedy

VARIABLES DEPENDIENTES:

Función pulmonar

El término “función pulmonar” refleja el grado de funcionamiento de los pulmones de una persona respecto de sus capacidades y volúmenes

Cuantitativa continuas	VEF₁ : Volumen espiratorio forzado en el primer segundo. Corresponde a la porción de la capacidad vital forzada que es expulsada durante el	Tendencia obstructiva: Leve > 80 % Moderado 50-80% Severo 30-50%	L/min	Espirometría: prueba de la función pulmonar que mide los volúmenes y flujos respiratorios del
-------------------------------	--	---	-------	--

	<p>primer segundo de la maniobra.</p>	<p>Muy severo > 50%</p>		<p>paciente, esto es, la capacidad</p>
	<p>VEF 1%: (variable continua)</p> <p>Es la relación entre Volumen Espiratorio Máximo en el primer segundo (VEF1) y la Capacidad Vital Forzada (CVF). Puede expresarse en valor absoluto o porcentual (FEV1%).</p>	<p>VEF₁/CVF</p>	<p>%</p>	<p>Para acumular aire en los pulmones y la capacidad para moverlo.</p>
	<p>FEP: flujo espiratorio pico, cantidad máxima de aire por segundo (flujo) que puede ser expulsada de los pulmones en forma forzada (soplado) durante la primera parte de la espiración</p>	<p>Litros/ minuto</p>	<p>L/min</p>	

	<p>Capacidad vital forzada (CVF): La máxima cantidad de aire que puede ser exhalada de manera forzada después de una inspiración máxima, o la máxima cantidad de aire que el sujeto puede expulsar, después de haber tomado la mayor cantidad de aire posible</p>	<p>CVF</p>	<p>L/min</p>	
	<p>FEF 25 75: El flujo espiratorio medio (FEF25-75%) se define como el flujo medido entre el 25% y el 75% de la maniobra de espiración forzada o como El flujo espiratorio forzado promedio en la mitad central de la CVF</p>	<p>Flujo/ 0.25 EF Flujo/ 0.75 EF</p>	<p>%</p>	

VARIABLES INTERVINIENTES

Actividad física al aire libre:

Actividad física realizada por las personas en un contexto urbano, en la cual se exponen al aire ambiente

cuantitativas nominales	Edad	18 – 60	Años y meses	Cuestionario
	Nombre			
	Ocupación laboral			
cuantitativas continuas	Tiempo de uso diario de la bicicleta en ciclo ruta	Preguntas cerradas con única respuesta	Minutos/ día	
	Tiempo de uso de la bicicleta en ciclo ruta en el último año	de selección	Días / año	
cuantitativas discontinuas	Horario en el día de mayor tránsito por ciclo ruta		Franja horaria	

8. Plan de análisis.

Para el plan de análisis de los datos obtenidos se tomarán elementos de la estadística descriptiva, se creará una matriz de datos en Excel que permita tablas de frecuencia, para ello en las filas se ubicará el nombre del participante y en las columnas los datos demográficos, los datos

obtenidos del cuestionario, los resultados de las variables espirométricas y los niveles de material particulado del momento de la toma. Adicionalmente, Estos datos se representarán en gráficos de histogramas. Los indicadores del colectivo de participantes se representarán con medidas de tendencia central, y la distribución de frecuencias con medidas de dispersión.

Con los resultados de la espirimetría y las respuestas del cuestionario, Se realiza una descripción de esta, a través del cálculo de estadísticas y de gráficos descriptivos univariados (Crawley, 2015). Luego, para evaluar la asociación entre las variables demográficas y el patrón espirométrico, se construyen clústeres de individuos usando un análisis de clasificación jerárquica (Husson et al., 2010; Pardo & Del Campo, 2007) sobre las coordenadas de un análisis de correspondencias múltiples (Pages, 2004; Lebart, 2005; Lebart, 2006) de dichas variables y luego la aplicación de la prueba chi cuadrado (Gibbons, 2003). Para estudiar la relación entre las variables de frecuencia y uso de la bicicleta, y el tipo de patrón espirométrico se realizan pruebas chi cuadrado. Todos los procedimientos se realizan en el software R (R Core Team, 2018).

9. Resultados y análisis descriptivo.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la investigación, en primer lugar los resultados de la convocatoria de los sujetos, en segundo lugar los resultados de la función pulmonar determinado por las espirómetros y finalmente los resultados del comportamiento del material particulado del aire determinado por los datos obtenidos de la red de monitoreo del aire.

9.1 Resultados de la convocatoria.

Un total de 257 hombres, ciclistas que se movilizaban por la ciclo ruta de la localidad Kennedy fueron invitados a participar en la investigación. A cada individuo se le pregunto por el uso de la

bicicleta, desplazamientos, antecedentes de salud, ocupación laboral y exposición a contaminantes, y condición de fumador o no. Esta fase 1 de contacto con los sujetos permitió realizar el primer filtro de selección para la investigación. 38 ciclistas decidieron no participar en la investigación argumentando otros intereses particulares; 36 ciclistas afirmaron ser fumadores; 8 personas afirmaron no utilizar la bicicleta de forma frecuente y pese a estar utilizándola en el momento de la invitación, afirmaron su uso esporádico; 42 ciclistas fueron descartados en este primer momento porque al indagar sobre su ocupación laboral se podía establecer que esta exponía al sujeto a contaminantes para las vías aéreas como polvos, aserrines y pinturas; de esta manera un total de 124 sujetos fueron descartados.

En un segundo momento, 133 sujetos que se consideraron posibles participantes de la investigación, fueron encuestados con el instrumento de selección de participantes y se les solicitó la firma de su respectivo consentimiento informado. De estos, 117 sujetos cumplieron los criterios de inclusión mientras que 16 fueron excluidos al encontrar con el instrumento de selección que no cumplían los criterios establecidos. Posteriormente, 117 personas ingresaron a la prueba de función pulmonar por medio de la espirómetros; de las cuales 110 cumplieron los criterios de selección de las espirómetros y 7 se descartaron por desempeño inadecuado en la prueba, valores no reproducibles, los cuales se describen en detalle en el numeral **8.3.1**. El siguiente Gráfico 7 resume el proceso completo de selección que se llevó a cabo, incluye las 3 fases convocatoria y como se obtiene finalmente el tamaño de muestra establecido para esta investigación.

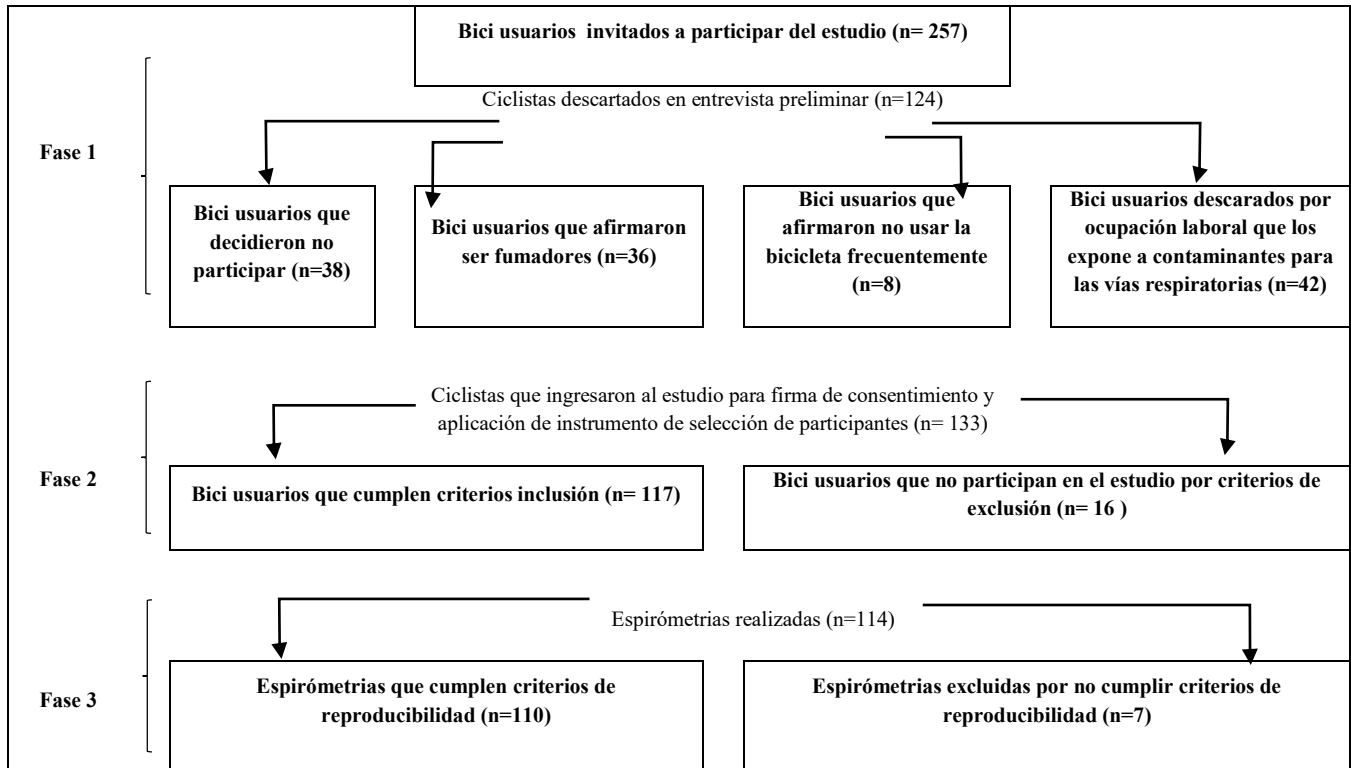


Grafico 7: esquema de selección de participantes.

Se representa el proceso de convocatoria y selección de los sujetos para la investigación

9.2 Características demográficas.

110 sujetos Hombres con un rango de edades entre min. 19 y máx. 57 años, con un rango de peso corporal entre min. 52Kg y máx. 107 kg, una estatura entre min. 153cm y máx. 189 cm (ver tabla 11); todos afirmaron el uso frecuente de la bicicleta por las ciclo rutas de Bogotá. Además, los sujetos cumplieron los criterios de inclusión en el estudio entre ellos ser no fumadores, y todos firmaron el consentimiento informado. Cabe resaltar que solo se incluyeron a los ciclo usuarios cuyo lugar de nacimiento pese a ser diferente a Bogotá, afirmaron tener más de 5 años habitando en la capital. Ninguno presento contraindicaciones para presentar la espirómetria, y ninguno presento un evento adverso.

Tabla 11:

Características demográficas

Variable	min	Máx.	media	mediana	desv.estand	coef.var
EDAD	19	57	37.2	36.0	9.5	25.6
PESO	52	107	73.7	73.0	11.3	15.4
TALLA	153	189	170.1	170.0	6.9	4.0
FEV1	31	122	91.6	91.0	13.3	14.5
FEV1/FVC	70	124	99.9	100.0	6.8	6.8
FVC	25	129	92.2	93.5	13.6	14.7
PEF	35	161	103.2	103.0	21.5	20.8

9.3 Resultados del uso de la bicicleta

Los datos que se obtiene de la Encuesta de selección de los participantes (ver anexo 2) en la categoría 2 en donde se pregunta acerca de la frecuencia de uso de la bicicleta en la población de la investigación permiten establecer el perfil de uso de este medio de transporte por los ciclistas de este estudio. En la encuesta se determinan 4 preguntas cada una de ellas con 3 opciones de respuesta. Los resultados de esta caracterización se observan en los siguientes gráficos.

- ❖ **Pregunta 1:** ¿Desde hace cuánto tiempo se desplaza periódicamente en la cicloruta, mediante el uso de la bicicleta?

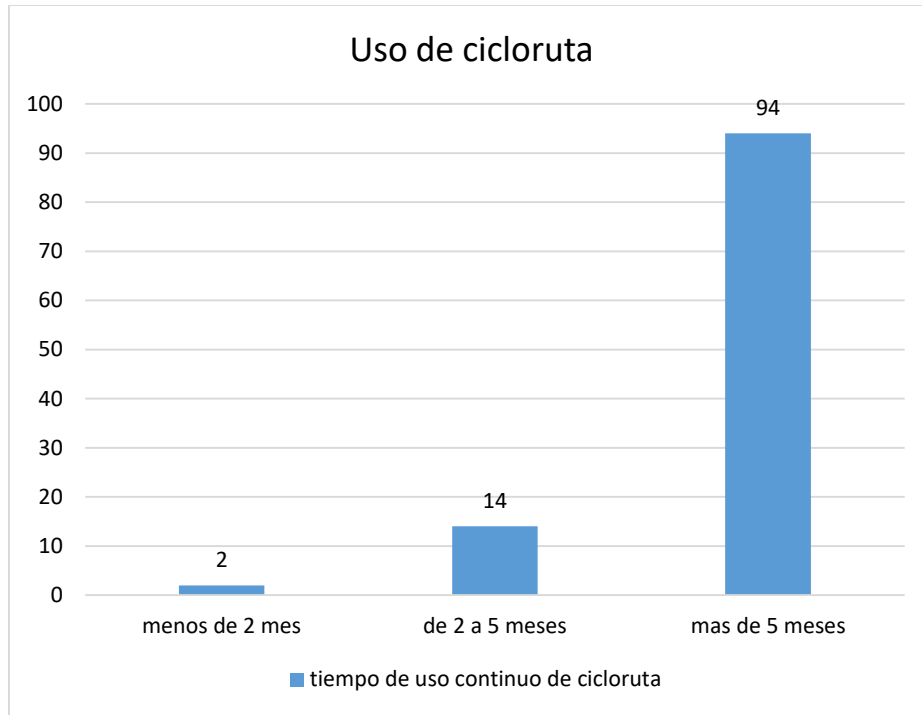


Gráfico 8: Tiempo de uso en meses de la bicicleta en la cicloruta por los participantes.
 Se representa las tres opciones de respuesta de los participantes respecto a la continuidad del uso de la bicicleta en la cicloruta

En respuesta a este interrogante el gráfico 8 muestra 94 sujetos que corresponden al 85.4% de los participantes del estudio llevan más de 5 meses realizando uso de la bicicleta en la cicloruta para sus desplazamientos siendo esta categoría la de mayor proporción; 14 sujetos que corresponden al 12.7% entre 2 y 5 meses; solo 2 sujetos que corresponden al 1.8% de los participantes del estudio hacen uso de la bicicleta hace menos de 2 meses de uso. Al indagar con la población acerca de la preferencia por el uso de la bicicleta, la mayoría de los participantes afirmaron uso por mejor medio de transporte haciendo referencia a la economía y rapidez de llegada al sitio de trabajo.

- ❖ **Pregunta 2:** ¿Con que frecuencia semanal practica usted actividad física, mediante el uso de la bicicleta en la ciclo ruta?

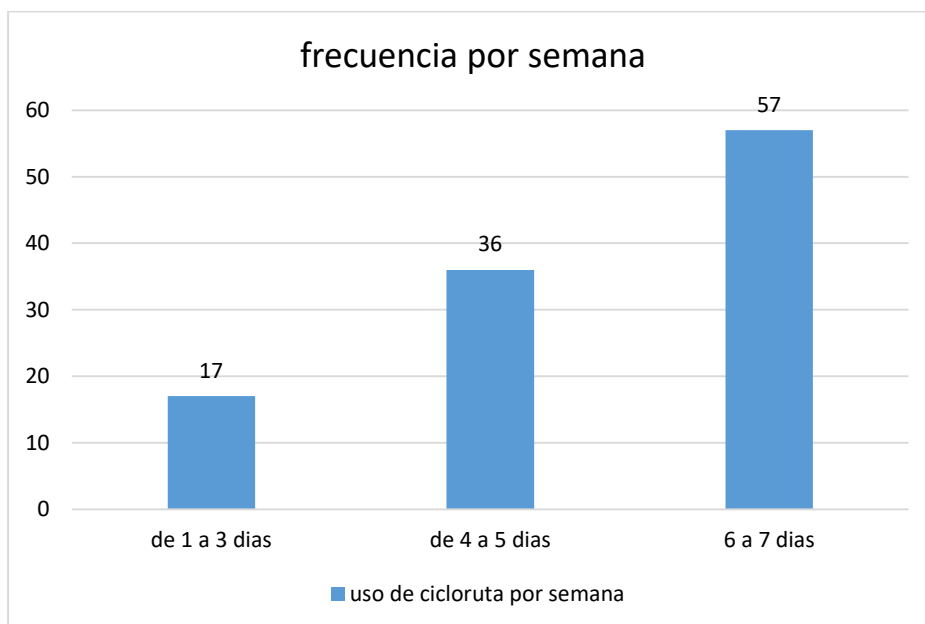


Grafico 9: frecuencia semanal de uso de la bicicleta en la cicloruta por los participantes.
Se representa las tres opciones de respuesta de los participantes respecto a la continuidad en la semana del uso de la bicicleta en la cicloruta

En ante el grafico 9 se puede evidenciar que 57 sujetos que corresponden al 51.8% de los participantes del estudio que hacen uso de la bicicleta en la ciclo rutas 6 a 7 días a la semana; 36 sujetos 32.7% entre 4 y 5 días por semana; y 17 sujetos 15% de los participantes del estudio de 1 a 3 días a la semana. Los individuos afirmaron que el número de días a la semana estaba en gran parte condicionado al número de días laborales.

❖ **Pregunta 3:** ¿Cuánto tiempo emplea usted en el desplazamiento diario en bicicleta en la cicloruta (incluya los recorridos de llegada y salida del punto inicial)?

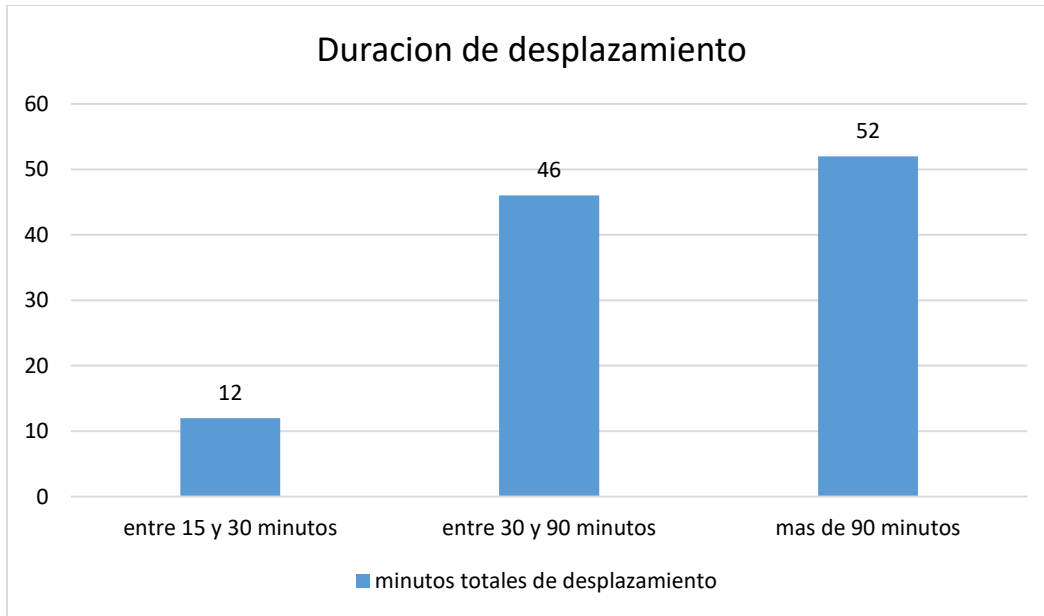


Grafico 10: tiempo total en minutos de uso diario de la bicicleta en la cicloruta por los participantes.
 Se representa las tres opciones de respuesta de los participantes respecto a la continuidad en la semana del uso de la bicicleta en la cicloruta

En la gráfica 10 tenemos 52 personas que corresponden al 47.2% de los participantes de la investigación quienes afirmaron tardar en sus recorridos sumados de ida y regreso más de 90 minutos al día; 46 sujetos 41.8 % tarda entre 30 y 90 minutos; y 12 10.9% tarda entre 15 y 30 minutos; Los sujetos del estudio afirmaron que el principal motivo de la duración del recorrido es la distancia con su sitio de trabajo. Cabe resaltar que para el cálculo los investigadores preguntaron hora de salida y llegada en la ida y en el regreso, para calcular los minutos y así marcar una de las tres categorías. Esta novedad se dio ya que en las semanas previas al inicio de la investigación cuando se desarrollaron las pruebas de entrenamiento se determinó realizarlo de esta manera para evitar la subjetividad del ciclista en la respuesta. Además, Los sujetos del estudio afirmaron que su principal motivo del uso de la bicicleta es para el desplazamiento a sus sitios de trabajo por lo que la mayoría afirmó realizar 2 desplazamientos diarios ida a su trabajo y regreso a su hogar

❖ **Pregunta 4:** ¿Cuál es la franja horaria en la que usted hace mayor uso de la bicicleta en la cicloruta?

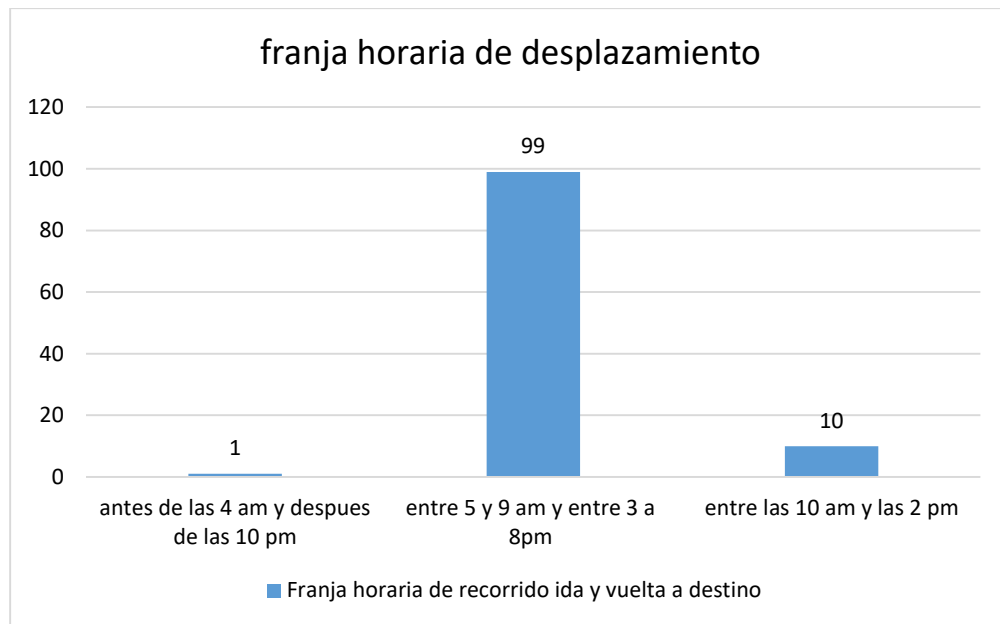


Gráfico 11: Franja horaria de uso de la bicicleta en la cicloruta por los participantes.
Se representa las tres opciones de respuesta de los participantes respecto a la franja horaria en la cual realizan uso de la bicicleta en la cicloruta

En la gráfica 11 representa 99 ciclistas que corresponden al 90 % de los participantes del estudio que se desplaza en la franja horaria 2 que abarca entre las 5am y las 9 am y entre las 3pm y las 8pm; 10 ciclistas 9. 1 % de los participantes se desplaza entre las 10 am y las 2 pm; y tan solo 1 ciclista 0.9% de los participantes del estudio se desplaza antes de las 4am y después de las 10 pm; Los sujetos del estudio afirmaron que su principal motivo de uso de la bicicleta en los horarios establecidos en las franjas de respuesta tienen que ver con su horario de entrada y salida laboral; Para determinar la franja horaria de desplazamiento, los investigadores preguntaron a cada sujeto la hora de salida y de llegada en el recorrido de ida y en el de regreso para establecer la franja horaria.

9.4 Resultados de la estación de monitoreo de calidad del aire de Kennedy.

Los datos obtenidos del material particulado y de las demás variables ambientales fueron solicitados a la secretaria de ambiente de Bogotá de manera formal. En respuesta a la solicitud, dicha entidad entregó a los investigadores una base de datos en formato Excel el cual contenía los reportes de concentración de contaminación tomados por la estación de monitoreo de calidad del aire Kennedy, recolectados desde el 8 de octubre de 2017 al 25 de noviembre de 2017, fechas en las cuales se realizó la investigación y se tomaron las respectivas medidas de función pulmonar y uso de la bicicleta.

La base de datos enviada por la secretaria de medio ambiente de Bogotá incluía medición día por día de los promedios de concentración del contaminante particulado por cada hora, además incluía el promedio de la temperatura ambiente, humedad, presión barométrica, velocidad y dirección del viento, radiación solar y precipitación, para los días en los que se realizaron las mediciones de función pulmonar a los ciclistas. A continuación se presenta la tabla 12 la cual representa el formato en el que la secretaria de ambiente hace entrega de los datos solicitados correspondientes a la estación de monitoreo del aire de Kennedy

Tabla 12:

Promedios de medición de la estación de calidad del aire de Kennedy durante la investigación.

Estación: Kennedy Periódica: 09/10/2017 01:00 -10/11/2017 00:00 Tipo: AVG 1 Hr. [1 Hr.]									
variable	PM10	PM2.5	Rad Solar	Vel Viento	Dir. Viento	Precipitación	Temperatura	Humedad	Presión Baro
	µg/m3	µg/m3	W/M2	m/s	Grados	mm	C°	%	mmHg
Mínima	10,3	0	0	0	(0 Grados)	0	8,4	37	560
Máximo.	215,6	156	971	5,7	(359 Grados)	26,9	21,7	84	565

Promedio.	60,8	30,4	155	2	269	240,2	14,9	67	562
Numero de datos recolectados	1137	1145	1152	1152	1152	1152	1152	1152	1152
Datos [%]	98	99	100	100	100	100	100	100	100

Nota: **radiación solar** (Rad solar) medida en vatios por metro cuadrado (w/m²); **velocidad del viento** (Vel Viento) medida en metros por segundo (m/s); **Precipitación** medida en milímetros de agua por unidad de superficie (mm); **Temperatura Ambiente** medida en grados centígrados (C°); **Humedad** medida en porcentaje de concentración respecto a la temperatura ambiente; presión barométrica medida en milímetros de mercurio (mmHg).

La tabla 11 representa los promedios de las variables ambientales en los días en que transcurrió la investigación. El PM10 tuvo un valor máximo de concentración de 215,6 µg/m³ con un promedio de concentración del contaminante de 60.8 de un total de 1137 datos recolectados en el periodo de investigación; El PM2.5 obtuvo un máximo de concentración de 156 µg/m³ con un promedio de concentración de 30.4 µg/m³ de un total de 1145 datos recolectados; la radiación solar máxima alcanzo 971 vatios por metro cuadrado (w/m²) con un promedio de 155 w/m²; la velocidad del viento máxima alcanzada fue de 5.7 m/s con un promedio de 2 m/s; la máxima precipitación alcanzada fue de 26.6 mm con un promedio de 240.2mm; la temperatura ambiente mínima fue de 8.4° y la máxima de 21.7° con un promedio de 14.9°; finalmente, la humedad alcanzo un 84% con un promedio de 67%; estas condiciones ambientales bajo la presión barométrica para Bogotá de 562mmHg.

9.4.1 Resultados del PM10

Una vez obtenidos estos datos se determina filtrar de la base de datos los correspondientes a PM 10, describiendo los promedios por hora y por día correspondientes al periodo de investigación. Una vez desarrolladas estas tablas, se puede analizar el comportamiento de los contaminantes particulados respecto de medidas límites de concentración sugeridos por OMS los cuales están descritos en siguiente tabla 3.

Tabla 3.

Límites establecidos por OMS

Contaminante	Promedio del periodo		
	Anual	24 horas	8 horas
PM 10	10 μ/m^3	20 μ/m^3	
PM 2.5	25 μ/m^3	50 μ/m^3	

PM material particulado Ppb partes por billón Ppm partes por millón

Fuente. Giles y Kohele (2014). P.224 **Nota:** La OMS sugiere que el PM 10 no supere la concentración por hora y por promedio del día de 50 μ/m^3 y el PM2.5 de 25 μ/m^3 .

Para describir el comportamiento del PM10 se establece en primer lugar la siguiente tabla de rangos - colores en la cual cada 10 μ/m^3 varía de color. Cabe resaltar, que el límite establecido por OMS para PM10 corresponde a 50 μ/m^3 .

Tabla 13:

Escala de colores por rangos de concentración de PM10.

Rango PM10 (μ/m^3)	Color asignado
30 - 40	
40 - 50	
50 – 55 (línea OMS)	
55 - 60	
60 -65	
65 - 70	
70 - 75	
75 - 80	
80 - 85	
85 - 90	
90 - 95	
95 - x	

Una vez definida la tabla de rangos y colores, se procede a establecer la tabla de promedios de comportamiento del PM 2.5 por días y por horas asignado el color correspondiente al rango hallado. La siguiente tabla muestra los promedios por horas y por días así como los promedios generales del comportamiento de este contaminante en las fechas en las que se lleva a cabo la investigación.

Tabla 14:

Comportamiento promedio semanal de las concentraciones en aire por PM 10

Parte 1: Comportamiento Promedio de PM10 µg/m3.								
HORA	DOM	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	SAB	Prom general
0	39,9	59,7	57,8	60,3	70,3	54,6	51,1	56,7
1	43,8	28,7	47,9	56	60,9	64,1	47,1	49,6
2	48,5	34,8	60,2	45,5	56,9	51,8	37,6	48,1
3	46,5	29,9	59,5	61,8	62,7	49,2	46,5	51,2
4	40,9	33,3	60,8	58,5	70	47,3	51,8	52,3
5	37,4	40	58,4	56	73,5	56,2	47,8	53,3
6	35,3	55,6	88,8	79	108,2	77,7	56,4	73
7	47,7	73,6	86,1	97,6	114,9	109,5	69,1	86,5
8	47,4	67,2	84,8	90,5	115,2	103,4	70	83,5
9	49,9	64	84,8	71	116,7	77,4	74,1	77,8
10	51,6	51	66,4	64,2	92,1	70,9	51,2	64,5
11	46,7	50,8	58,8	57,7	88,6	70,5	52,9	61,3
12	47,5	62,8	52	59,8	82	60,5	58,3	61,2
13	44,5	68,9	62,4	80,2	70,2	74,2	53,3	65,6
14	39,4	57,8	67,1	61,4	52,1	81	61,1	59,7
15	43,6	49,6	57,9	63,2	54,7	54,9	59,8	55
16	38,7	45,5	53,1	61,6	46,8	60,9	52,5	50,7
17	34,4	48,6	50	57,9	54,8	64,5	49,6	51,6
18	36,7	48,9	62,7	60,2	62,2	69,9	54,7	56,8
19	37,8	55,4	61,9	62,6	75,2	76	56,7	61,3
20	39,8	72,8	50,4	61	73,1	76	51	61,1
21	38,2	78	53,7	59,7	79,9	66,8	54,4	62,3
22	38,2	85	53,3	61,2	75,3	73,4	54,3	63,7
23	37,3	67	58,3	64,4	71,7	73,8	55,2	61,6
Prom general	42,1	55,4	62,5	64,7	76,2	69,5	54,9	61,2

Parte 2: Comportamiento de PM10 de lunes a viernes en las fechas de medición. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$.)						
HORA	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	Prom general
0	59,7	57,8	60,3	70,3	54,6	60,54
1	28,7	47,9	56	60,9	64,1	51,52
2	34,8	60,2	45,5	56,9	51,8	49,84
3	29,9	59,5	61,8	62,7	49,2	52,62
4	33,3	60,8	58,5	70	47,3	53,98
5	40	58,4	56	73,5	56,2	56,82
6	55,6	88,8	79	108,2	77,7	81,86
7	73,6	86,1	97,6	114,9	109,5	96,34
8	67,2	84,8	90,5	115,2	103,4	92,22
9	64	84,8	71	116,7	77,4	82,78
10	51	66,4	64,2	92,1	70,9	68,92
11	50,8	58,8	57,7	88,6	70,5	65,28
12	62,8	52	59,8	82	60,5	63,42
13	68,9	62,4	80,2	70,2	74,2	71,18
14	57,8	67,1	61,4	52,1	81	63,88
15	49,6	57,9	63,2	54,7	54,9	56,06
16	45,5	53,1	61,6	46,8	60,9	53,58
17	48,6	50	57,9	54,8	64,5	55,16
18	48,9	62,7	60,2	62,2	69,9	60,78
19	55,4	61,9	62,6	75,2	76	66,22
20	72,8	50,4	61	73,1	76	66,66
21	78	53,7	59,7	79,9	66,8	67,62
22	85	53,3	61,2	75,3	73,4	69,64
23	67	58,3	64,4	71,7	73,8	67,04
Prom general	55,4	62,5	64,7	76,2	69,5	65,66

La anterior tabla 14 en su primera parte muestra las concentraciones promedio por hora del día y totales del contaminante PM10 en las semanas de desarrollo de esta investigación; allí se indica que el día de la semana de menor contaminación por PM10 es el día domingo, en donde su promedio diario de $42,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ está por debajo del límite de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ establecido por la OMS, seguido del día sábado con $54,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otro lado, el día jueves es el que presenta mayor promedio de contaminación con $76,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Es importante destacar que el promedio total por días y por horas de toda la tabla de $61,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ supera el límite establecido por OMS. No obstante, en la segunda parte de la tabla, se presenta el Comportamiento de PM10 de lunes a viernes en las

fechas de medición, dado que se tratan de los días que la población refería principal uso de la bicicleta como medio de transporte para desplazamiento laboral y en los cuales se realizó la espirómetros a los ciclistas. El comportamiento del PM10 observado en la tabla al excluir los fines de semana, nos muestra variación en el promedio de concentración con aumento de sus valores. En consecuencia, el promedio total horas y días, nos indica un nivel de PM10 de 65,66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Superior al límite establecido por la OMS. Además se puede observar que los valores más altos de concentración del contaminante se encontraron de lunes a viernes de 6 am a 9 am. Al graficar el comportamiento del PM10 por horas se obtiene la siguiente grafica 12

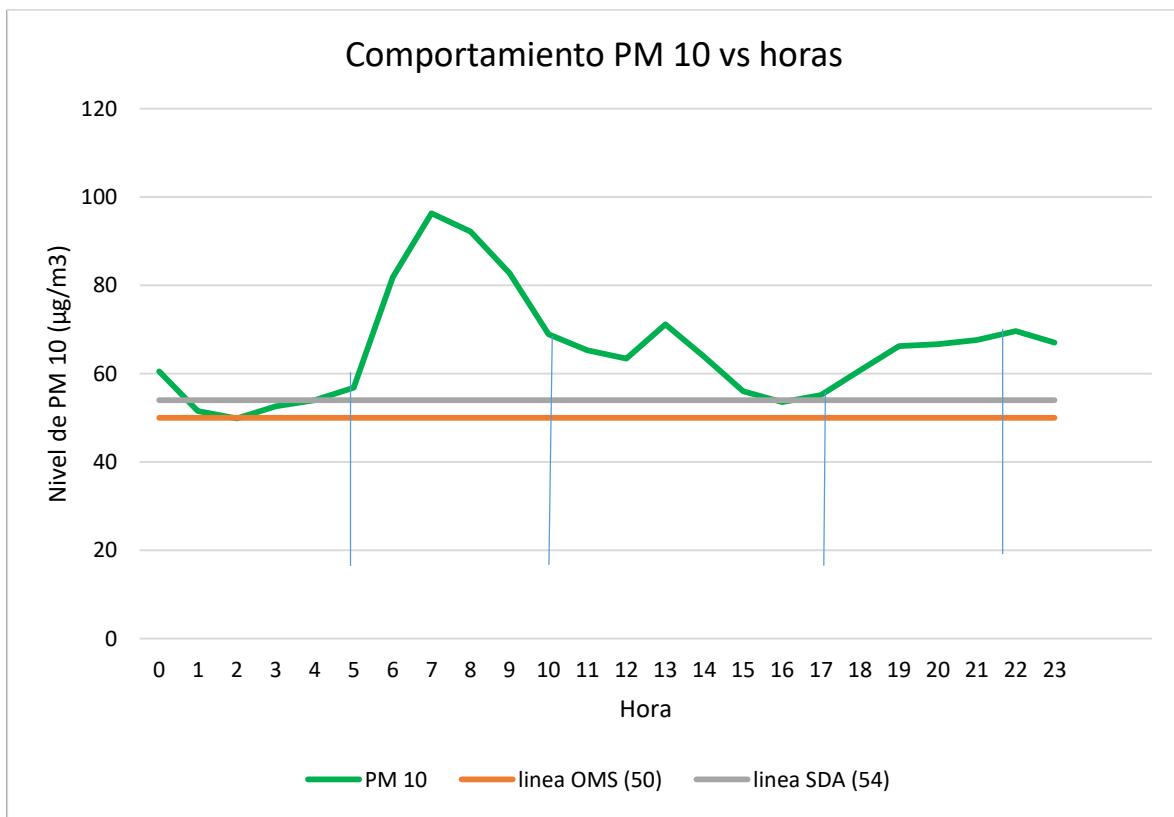


Grafico 12: Promedios de PM10 por horas del día
 Se representa la gráfica de los promedios de concentración del Pm10 por horas

La grafica 12 permite determinar el comportamiento del PM10 promedio por cada hora del día y su tendencia a subir o bajar según las franjas horarias. Las líneas de límites establecidos por OMS (50 µg/m3.) y por la secretaria distrital de ambiente de Bogotá (SDS) de 54 µg/m3 nos muestran como para el periodo de investigación el PM10 superaba los límites establecidos la mayor parte del día; con picos altos de contaminación en horas de 7 am a 8 am, de 1 pm a 2 pm y de 6 pm a 7 pm; Siendo las 7 am con 96, 34 µg/m3. La concentración promedio más alta del contaminante.

Adicionalmente, para fines de la presente investigación, se determinó por medio de cuestionario la franja horaria de preferencia de desplazamiento de los ciclo usuarios por la ciclo ruta paralela a la medición de la estación de monitoreo del aire. La siguiente tabla muestra el comportamiento promedio de las concentraciones de PM10 en las franjas determinadas para nuestra población de estudio.

Tabla 15:

Comportamiento del PM10 por franjas horarias.

Comportamiento de PM10 de lunes a viernes por respuesta a franjas horarias de desplazamiento							
Respuesta franja horaria	HORA	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	Prom general
FRANJA 1 Antes de las 4 am y después de las 10 pm	0	59,7	57,8	60,3	70,3	54,6	60,54
	1	28,7	47,9	56	60,9	64,1	51,52
	2	34,8	60,2	45,5	56,9	51,8	49,84
	3	29,9	59,5	61,8	62,7	49,2	52,62
	4	33,3	60,8	58,5	70	47,3	53,98
	22	85	53,3	61,2	75,3	73,4	69,64
	23	67	58,3	64,4	71,7	73,8	67,04
(sujetos = 1)	Prom general	48,3	56,8	58,2	66,8	59,1	57,8
Respuesta franja horaria	HORA	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	Prom general
	5	40	58,4	56	73,5	56,2	56,82
	6	55,6	88,8	79	108,2	77,7	81,86
	7	73,6	86,1	97,6	114,9	109,5	96,34

FRANJA 2 Entre las 5 y 9 am y/o entre las 3 y 8 pm	8	67,2	84,8	90,5	115,2	103,4	92,22
	9	64	84,8	71	116,7	77,4	82,78
	15	49,6	57,9	63,2	54,7	54,9	56,06
	16	45,5	53,1	61,6	46,8	60,9	53,58
	17	48,6	50	57,9	54,8	64,5	55,16
	18	48,9	62,7	60,2	62,2	69,9	60,78
	19	55,4	61,9	62,6	75,2	76	66,22
	20	72,8	50,4	61	73,1	76	66,66
	21	78	53,7	59,7	79,9	66,8	67,62
	22	85	53,3	61,2	75,3	73,4	69,64
	(sujetos= 99)	Prom general	60,3	65,1	67,8	80,8	74,3
Respuesta franja horaria	HORA	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	Prom general
FRANJA 3. Entre las 10 am y 2 pm	10	51	66,4	64,2	92,1	70,9	68,92
	11	50,8	58,8	57,7	88,6	70,5	65,28
	12	62,8	52	59,8	82	60,5	63,42
	13	68,9	62,4	80,2	70,2	74,2	71,18
	14	57,8	67,1	61,4	52,1	81	63,88
(sujetos = 10)	Prom general	58,2	61,3	64,6	77	71,4	66,5

En la tabla 15 se puede observar como las concentraciones más altas del contaminante PM10 se ubican en la franja horaria 2. En este horario 99 participantes de la investigación que corresponden al 90% de la población de estudio afirmaron hacer uso de la cicloruta. Los valores de concentración del contaminante alcanzan un promedio 69,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con las concentraciones más elevadas tales como 81.86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (6am), 96,34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (7am), 92, 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (8am), incluso, el día jueves entre 8 am y 9 am registra el valor máx. 116,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que supera por el doble el límite establecido por la OMS.

En consecuencia, podemos inferir que el 90% de la población del estudio quienes se desplazan en bicicleta por la cicloruta entre las 5 y 9 am y entre las 3 y 8 pm, lo hacen cuando el PM10 en el aire tiene las mayores concentraciones de contaminación en las fechas de investigación. Por lo

anterior, el siguiente grafico 13 relaciona el comportamiento promedio de concentración de PM10 de cada una de las franjas horarias.

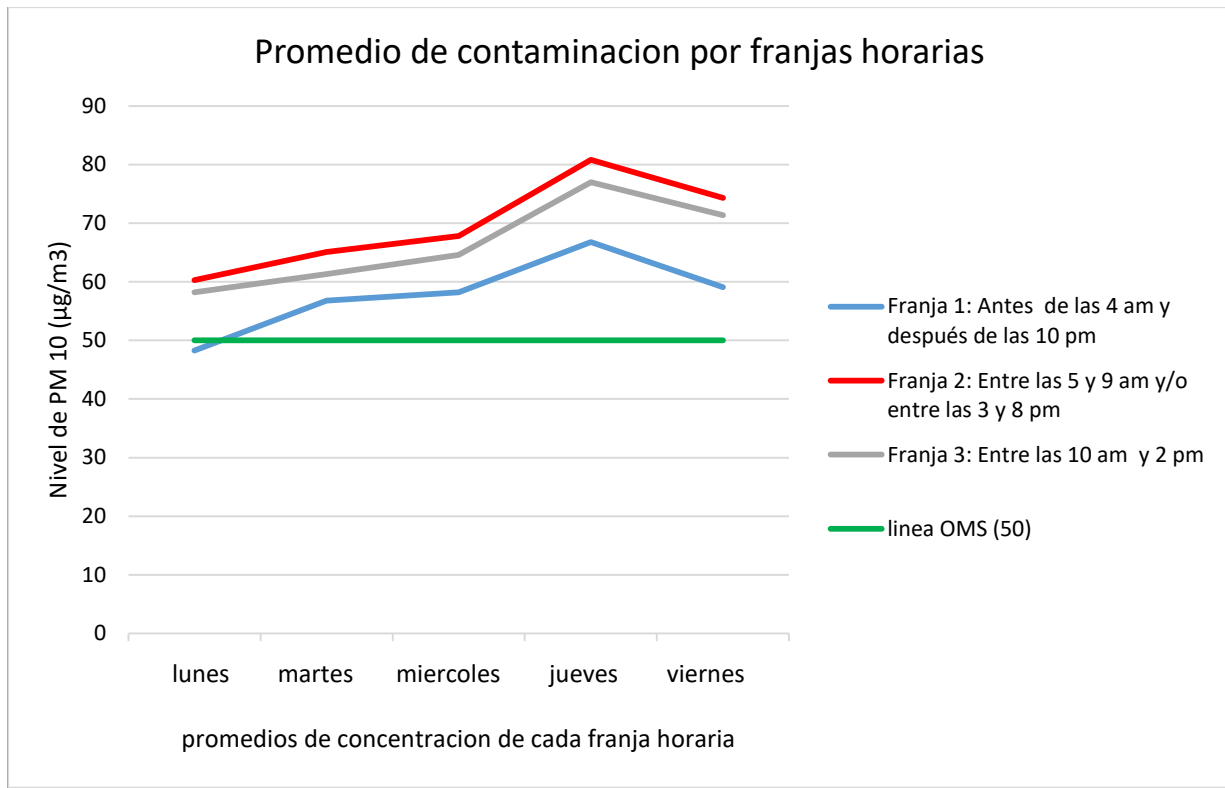


Grafico 13: Promedios de PM10 por franjas horarias del cuestionario a participantes
 Se representa la gráfica de los promedios de concentración del Pm10 en las franjas de desplazamiento de los ciclistas del estudio.

El anterior grafico 13 permite observar como las franjas horarias de desplazamiento de los ciclistas del estudio superan los límites de concentración del PM10 establecidos por OMS siendo la franja 2 la de mayores valores de contaminación.

9.4.2 Resultados del PM 2.5

Para describir el comportamiento del PM2.5 se realiza un procedimiento similar al descrito anteriormente. En primer lugar se establece la siguiente tabla de rangos - colores en la cual cada 4

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ varía de color. Cabe resaltar que el límite establecido por OMS para PM 2.5 corresponde a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabla 16:

Escala de colores por rangos de concentración de PM 2.5

Rango PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Color asignado
0 a 8	
8 a 12	
12 a 16	
16 - 20	
20 - 24 limite OMS	
24 - 28	
28 - 32	
32- 36	
36 - 40	
40 - 44	
44 - 48	
48 - 52	
52 -x	

Una vez definida la tabla de rangos y colores, se procede a establecer la tabla de promedios de comportamiento del PM 2.5 por días y por horas asignado el color correspondiente al rango hallado. La siguiente tabla muestra los promedios por horas y por días así como los promedios generales del comportamiento de este contaminante en las fechas en las que se lleva a cabo la investigación.

Tabla 17:

Comportamiento promedio semanal de las concentraciones en aire por PM 2.5

Parte 1: Comportamiento Promedio de PM 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.								
HORA	DOM	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	SAB	Prom general
0	18,5	29,2	25,8	32,8	40,4	32,3	36	30,9
1	24,8	13,2	28,8	32,4	32	36,5	30,5	28,1

2	24,3	17,6	28,8	28,6	28,6	25,5	23,3	25,3
3	22,3	15,8	32,2	27	33	22,8	23,5	25,4
4	19,3	16,4	32,4	32,6	32,2	38	25,8	27,8
5	19,8	21,8	31,8	33,8	33,4	45	24,3	29,5
6	12,3	28,8	48	37,4	56,8	53	32,8	38,5
7	21,5	36,8	48	46,2	62,8	70,3	38	46,5
8	21,5	33,2	40,4	51	61,8	54	36,5	43,1
9	25,5	32	41,6	42,6	64	45	36,5	40,8
10	24	21,4	35	27	38,2	36,5	25	29,7
11	18	22	29,6	28,6	40,8	33,5	28,8	28,9
12	19,5	25,4	18,8	25	30,8	19,8	26	23,8
13	17,3	25	27,2	32,8	27,6	35	21,5	26,8
14	16,5	20,8	29,6	25,6	19,6	36	32,5	25,6
15	16	21,2	29,4	31,8	22,2	26,7	26,5	24,9
16	15,5	19,6	24,6	29,8	22,6	25	26,8	23,5
17	13	20,4	26,6	25,2	21,2	33	21,5	23
18	16,3	22,8	26,2	30,8	27,6	33,3	30,5	26,8
19	15,8	27,8	25	30,2	31,6	37	30	28,3
20	17,3	40	26,8	30	36,4	40,3	30,8	31,8
21	22,3	41	33	28,6	39	33,8	36,5	33,7
22	20,3	48,6	27,2	30,6	36,6	46	28,5	34,2
23	17,8	37,6	34,6	35,4	38,6	39	30	33,7
Prom general	19,1	26,6	31,3	32,3	36,5	37,4	29,2	30,4

Parte 2: Comportamiento Promedio de PM 2.5 µg/m3. Lunes a viernes

HORA	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	Prom general
0	29,2	25,8	32,8	40,4	32,3	32,1
1	13,2	28,8	32,4	32	36,5	28,6
2	17,6	28,8	28,6	28,6	25,5	25,8
3	15,8	32,2	27	33	22,8	26,1
4	16,4	32,4	32,6	32,2	38	30,2
5	21,8	31,8	33,8	33,4	45	33,1
6	28,8	48	37,4	56,8	53	44,8
7	36,8	48	46,2	62,8	70,3	52,8
8	33,2	40,4	51	61,8	54	48
9	32	41,6	42,6	64	45	45
10	21,4	35	27	38,2	36,5	31,6
11	22	29,6	28,6	40,8	33,5	30,9
12	25,4	18,8	25	30,8	19,8	23,9
13	25	27,2	32,8	27,6	35	29,5
14	20,8	29,6	25,6	19,6	36	26,3
15	21,2	29,4	31,8	22,2	26,7	26,2
16	19,6	24,6	29,8	22,6	25	24,3
17	20,4	26,6	25,2	21,2	33	25,8
18	22,8	26,2	30,8	27,6	33,3	28,1
19	27,8	25	30,2	31,6	37	30,3
20	40	26,8	30	36,4	40,3	34,7

21	41	33	28,6	39	33,8	35
22	48,6	27,2	30,6	36,6	46	37,8
23	37,6	34,6	35,4	38,6	39	37
Prom general	26,6	31,3	32,3	36,5	37,4	32,8

La anterior tabla 17 en su primera parte muestra las concentraciones promedio por hora del día y totales del contaminante PM_{2.5} en las semanas de desarrollo de esta investigación; allí se indica que el día de la semana de menor contaminación por PM 2.5 es el día domingo, en donde su promedio diario de 19,1 µg/m³ está por debajo del límite de 25 µg/m³ establecido por la OMS. Por otro lado, el día viernes es el que presenta mayor promedio de contaminación con 34.4 µg/m³. Es importante destacar que el promedio total por días y por horas de toda la tabla de 30.4 µg/m³ supera el límite establecido por OMS.

No obstante, en la segunda parte de la tabla, se presenta el Comportamiento de PM_{2.5} de lunes a viernes en las fechas de medición, dado que se tratan de los días que la población refería principal uso de la bicicleta como medio de transporte para desplazamiento laboral y en los cuales se realizó la espirometría a los ciclistas. El comportamiento del PM_{2.5} observado en la tabla al excluir los fines de semana, nos muestra variación en el promedio de concentración con aumento de sus valores. En consecuencia, el promedio total horas y días, nos indica un nivel de PM_{2.5} de 32.8 µg/m³ Superior al límite establecido por la OMS. Además se puede observar que los valores más altos de concentración del contaminante se encontraron de lunes a viernes de 6 am a 9 am. Al graficar el comportamiento del PM_{2.5} por horas se obtiene la siguiente grafica 14.

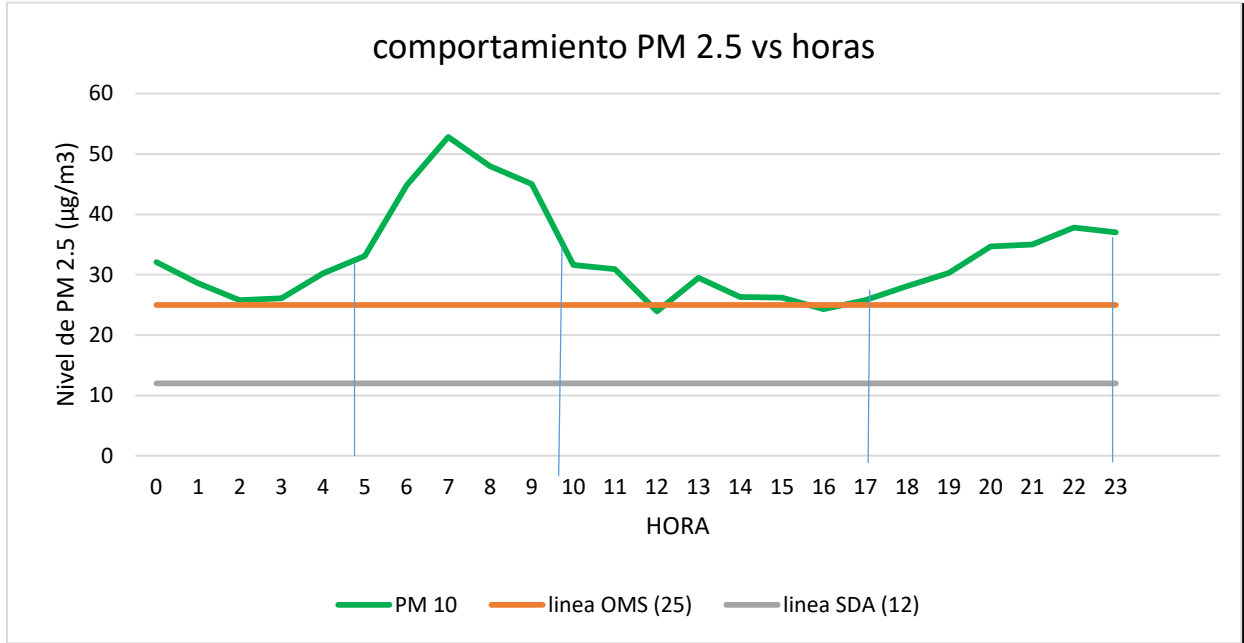


Grafico 14: Promedios de PM2.5 por horas del día
 Se representa la gráfica de los promedios de concentración del PM 2.5 por horas

La grafica 14 permite ver el comportamiento del PM2.5 promedio por cada hora del día y su tendencia a subir o bajar según las franjas horarias. Las líneas de límites establecidos por OMS (25 µg/m3.) y por la secretaria distrital de ambiente de Bogotá (SDS) de 12 µg/m3 nos muestran como para el periodo de investigación el PM2.5 superaba los límites establecidos la mayor parte del día; con picos altos de contaminación en horas de 7 am a 8 am, de 1 pm a 2 pm y de 6 pm a 7 pm; Siendo las 7 am con 52.2 µg/m3 La concentración promedio más alta del contaminante.

Adicionalmente, para fines de la presente investigación, se determinó por medio de cuestionario la franja horaria de preferencia de desplazamiento de los ciclo usuarios por la ciclo ruta paralela a la medición de la estación de monitoreo del aire. La siguiente tabla muestra el comportamiento promedio de las concentraciones de PM2.5 en las franjas determinadas para nuestra población de estudio.

Tabla 18:

Comportamiento del PM2.5 por franjas horarias.

Comportamiento de PM 2.5 de lunes a viernes por respuesta a franjas horarias de desplazamiento							
Respuesta franja horaria	HORA	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	Prom general
Franja 1 Antes de las 4 am y después de las 10 pm	0	29,2	25,8	32,8	40,4	32,3	32,1
	1	13,2	28,8	32,4	32	36,5	28,58
	2	17,6	28,8	28,6	28,6	25,5	25,82
	3	15,8	32,2	27	33	22,8	26,16
	4	16,4	32,4	32,6	32,2	38	30,32
	22	48,6	27,2	30,6	36,6	46	37,8
	23	37,6	34,6	35,4	38,6	39	37,04
(sujetos=1)	Prom general	25,4	29,9	31,3	34,4	34,3	31,1
Franja 2 Entre las 5 y 9 am y/o entre las 3 y 8 pm	HORA	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	Prom general
	5	21,8	31,8	33,8	33,4	45	33,16
	6	28,8	48	37,4	56,8	53	44,8
	7	36,8	48	46,2	62,8	70,3	52,82
	8	33,2	40,4	51	61,8	54	48,08
	9	32	41,6	42,6	64	45	45,04
	15	21,2	29,4	31,8	22,2	26,7	26,26
	16	19,6	24,6	29,8	22,6	25	24,32
	17	20,4	26,6	25,2	21,2	33	25,28
	18	22,8	26,2	30,8	27,6	33,3	28,14
	19	27,8	25	30,2	31,6	37	30,32
	20	40	26,8	30	36,4	40,3	34,7
	21	41	33	28,6	39	33,8	35,08
	22	48,6	27,2	30,6	36,6	46	37,8
(sujetos=99)	Prom general	30,3	32,9	34,4	39,6	41,7	35,8
Franja 3 Entre las 10 am y 2 pm	HORA	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	Prom general
	10	21,4	35	27	38,2	36,5	31,62
	11	22	29,6	28,6	40,8	33,5	30,9
	12	25,4	18,8	25	30,8	19,8	23,96
	13	25	27,2	32,8	27,6	35	29,52
	14	20,8	29,6	25,6	19,6	36	26,32
(sujetos=10)	Prom general	22,92	28,04	27,8	31,4	32,16	28,464

La anterior tabla 18 permite observar como las concentraciones más altas del contaminante PM2.5 se ubican en la franja horaria 2. En este horario 99 participantes de la investigación que

corresponden al 90% de la población de estudio afirmaron hacer uso de las cicloruta. Los valores de concentración del contaminante alcanzan un promedio 35,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con las concentraciones más elevadas tales como 52.82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (6am), 45.04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (7am), 48.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (8am), incluso, el día viernes entre 7 am y 8 am registra el valor máx. 70.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que supera por el doble el límite establecido por la OMS.

En consecuencia, podemos determinar que el 90% de la población del estudio quienes se desplazan en bicicleta por la cicloruta entre las 5 y 9 am y entre las 3 y 8 pm, lo hacen cuando el PM2.5 en el aire tiene las mayores concentraciones de contaminación en las fechas de investigación. Por lo anterior, el siguiente grafico 15 relaciona el comportamiento promedio de concentración de PM10 de cada una de las franjas horarias

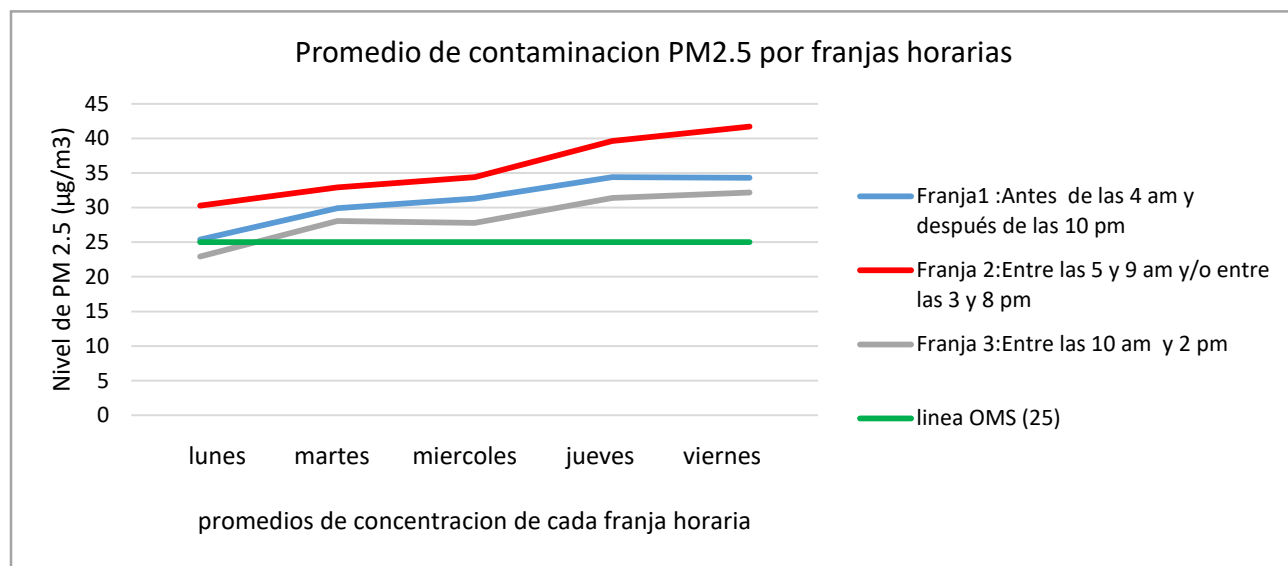


Grafico 15: Promedios de PM2.5 por franjas horarias del cuestionario a participantes
 Se representa la gráfica de los promedios de concentración del PM2.5 en las franjas de desplazamiento de los ciclistas del estudio.

La grafica 15 permite observar como las franjas horarias de desplazamiento de los ciclistas del estudio superan los límites de concentración del PM2.5 establecidos por OMS siendo la franja 2 la de mayores valores de contaminación.

Tanto el PM10 como el PM2.5 se comportan de manera similar aumentando sus concentraciones en la franja horaria 2. Durante el periodo de investigación, estos contaminantes superaron el límite establecido por la OMS. Podemos afirmar que en este periodo la calidad del aire que respiran los Bici usuarios en la cicloruta de Kennedy, presenta concentraciones que pueden ocasionar riesgo para la salud humana.

9.5 Resultados de la función pulmonar

A continuación se describen los resultados de la función pulmonar desde las variables espirométricas y la interpretación de la prueba desde la definición del patrón y el nivel de afectación según lo descrito por sociedad española de neumología y cirugía torácica (SEPAR) y la American Thoracic Society (ATS).

9.5.1 consolidado de resultados Espirómetros.

La presente investigación completo un total de 117 espirómetros de las cuales 110 cumplieron con criterios para resultados de la espirometría (expuestos en el numeral 6.1); los investigadores consideraron que el desempeño en la maniobra por parte de los sujetos fue adecuado, además, cada sujeto logro obtener 3 resultados reproducibles cumpliendo con la aceptabilidad de la prueba. Estos resultados fueron evaluados por el comportamiento de la curva en la gráfica flujo - volumen, donde se corroboraba el cumplimiento de criterio de reproducibilidad.

Por otro lado, 7 espirómetros fueron descartadas del estudio y sus datos fueron eliminados por no cumplir con los criterios expuestos, presentando las siguientes conductas:

- ❖ 4 espirómetros porque los sujetos no realizaron la maniobra según las indicaciones y la enseñanza dada por los investigadores, pese a su permanente retroalimentación. Los evaluadores notaron que los sujetos no comprendían el examen cometiendo errores como permitir la salida del aire por las caras laterales de las boquillas sin sellar adecuadamente las comisuras labiales, no permanecer en la postura correcta aumentando la cifosis torácica restringiendo la movilidad del tórax, incluso uno de los sujetos permanentemente obstruía el paso del aire al tapar la boquilla con su lengua sin posicionarla por debajo de la misma.
- ❖ 2 espirómetros porque los sujetos en 5 intentos solo completaron 1 y 2 maniobras con criterios de reproducibilidad detectados por el software y mostrando irregularidad en las curvas de flujo -volumen. Los evaluadores estimaron que los sujetos pese a la motivación a la prueba no presentaron interés por la misma y su nivel de exigencia no fue el adecuado.
- ❖ 1 espirómetro por que una vez el sujeto inicia la prueba los investigadores notan total incomprensión de las maniobras. Al indagar con la persona acerca de problemas de salud más a fondo que los descritos en el cuestionario, él afirma que presenta esquizofrenia y que se encuentra en tratamiento psiquiátrico. Se permite realizar la prueba pero luego se descartan los resultados dado que las maniobras no se realizan cumpliendo criterios.

9.5.2 Resultados de las variables espirométricas.

A continuación se describe el comportamiento de las variables espirométricas para la población del estudio. La tabla 19 resume los datos recolectados de todas las evaluaciones en tablas de Excel

y caracteriza cada una de las variables estableciendo los rangos mínimos y máximos hallados, predichos y teóricos.

Tabla 19:

Comportamiento variables espirométricas.

CVF: Cantidad de aire que se moviliza en una inspiración o espiración máximas forzadas			
Nota: Valor de referencia para considerar resultado predicho normal de 80% a 120 % del teórico número de sujetos con valor obtenido menor del 80% del teórico = 17			
Referencia	teórico	Resultado predicho	% del teórico
Min.	3.46 L	2.55 L	59
Max.	5.83 L	6.18 L	129
Promedio	4.72 L	4.34	82.84
VEF1: Cantidad de aire que se moviliza en el primer segundo de una espiración forzada			
Nota: Valor de referencia para considerar resultado predicho normal de 80% a 120 % del teórico número de sujetos con valor obtenido menor del 80% del teórico = 13			
Referencia	teórico	Resultado predicho	% del teórico
Min.	2.92 L	1.3 L	31
Max.	4.79 L	5.37 L	122
Promedio	3.91 L	3.59 L	91.5
VEF1/CVF: relación			
Nota: Valor de referencia para considerar resultado predicho normal de 70% a 85 % del teórico número de sujetos con valor obtenido menor del 70% del teórico = 1			
Referencia	teórico	Resultado predicho	% del teórico
Min.	74.8 %	58.4 %	70
Max.	86.5 %	100 %	124
Promedio	82.7 %	82.7 %	99.9

PEF (L/s): Cantidad máxima de aire que puede exhalarse por segundo en una espiración forzada. Es el pico máximo de flujo que se obtiene			
Nota: Valor de referencia para considerar resultado predicho normal mayor a 80% del teórico número de sujetos con valor obtenido menor del 80% del teórico = 18			
Referencia	teórico	Resultado predicho	% del teórico
Min.	6.64 L/s	3.28 L/s	35
Max.	10.38 L/s	12.6 L/s	161
Promedio	8.63 L/s	8.86 L/s	103
FEF2575 (L/s): cantidad del aire total espirado lo hace entre el 25 y el 75% del tiempo de espiración			
Nota: Valor de referencia para considerar resultado predicho normal mayor a 60% número de sujetos con valor obtenido menor del 60% del teórico = 11			
Referencia	teórico	Resultado predicho	% del teórico
Min.	3.11 L/s	1.57 L/s	39
Max.	5.33 L/s	7.43 L/s	156
Promedio	4.17 L/s	3.90 L/s	92.3

La tabla 19 representa los valores obtenidos en la Espirometría para cada una de las variables, en ella se describe el menor y mayor valor teórico calculado por el software en la población de estudio; el menor y mayor resultado logrado en la prueba; y el menor y mayor porcentaje del resultado respecto del teórico.

Por otro lado, los resultados presentados en la tabla 19 arrojan para **CVF** un valor mínimo y máximo teórico de 3.46 L y de 5.83 L respectivamente; con un resultado mínimo y máximo obtenido en las pruebas espirométricas de 2.55 L y 6.18 L y un promedio de 8.86 L/s; y un menor y mayor % logrado respecto del teórico de 31% y 122% respectivamente. En consecuencia, 17 sujetos (15.4%) obtuvieron un resultado por debajo del 80% del valor teórico calculado y 93

sujetos (84.6%) con un porcentaje mayor a 80 considerado como normal. El grafico 16 muestra la distribución de los porcentajes logrados por los sujetos respecto de los teóricos calculados.

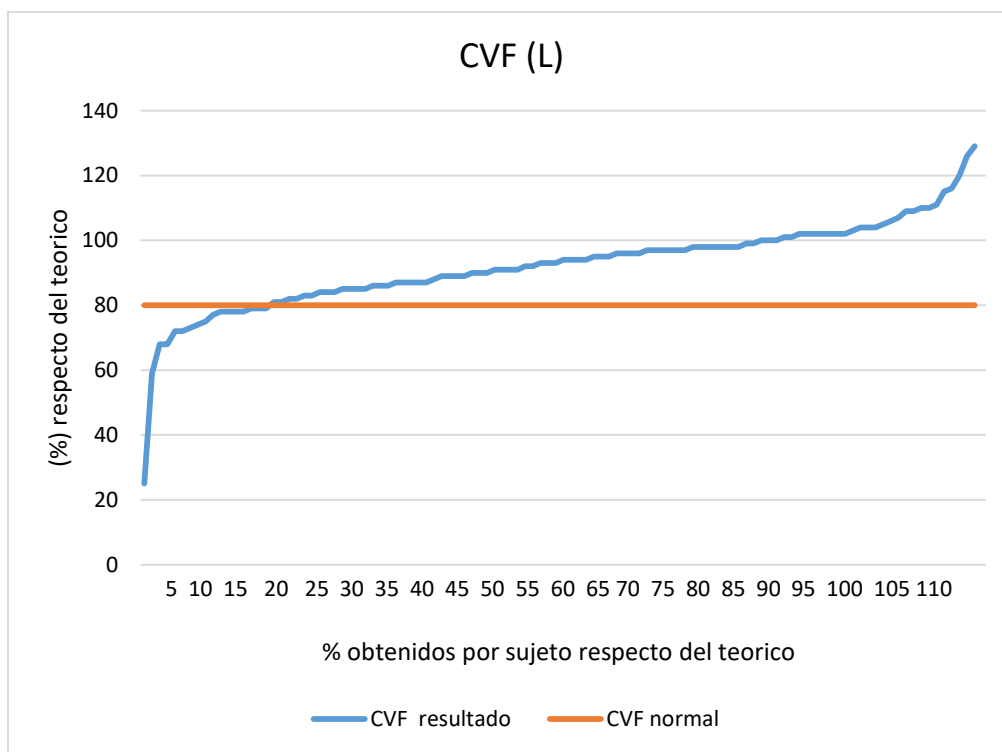


Grafico 16: Comportamiento de la variable capacidad vital forzada (CVF)

Se representa la gráfica de los valores del porcentaje logrado respecto del teórico para CVF en las 110 espirómetros y se traza la línea del porcentaje considerado como normal

Así mismo, para el **VEF1** la tabla describe un valor mínimo y máximo teórico de 2.92 L y de 4.79L respectivamente; con un resultado mínimo y máximo obtenido en las pruebas espirométricas de 1.3 L y 5.37 L y un promedio de 3.59 L/s; y un menor y mayor % logrado respecto del teórico de 59% y 129% respectivamente. En consecuencia, 13 sujetos (11.8%) obtuvieron un resultado menor del 80% del valor teórico calculado y 97 (88.2%) sujetos con un porcentaje mayor a 80% considerado como normal. El grafico 17 muestra la distribución de los porcentajes logrados por los sujetos respecto de los teóricos calculados.

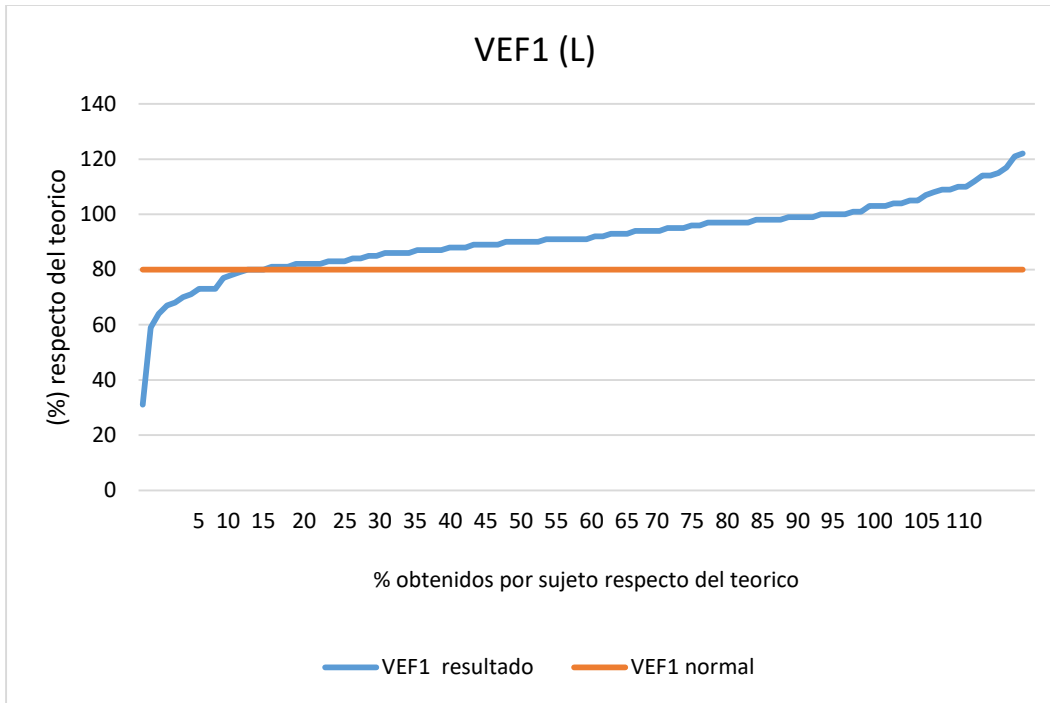


Gráfico 17: Comportamiento del volumen espiratorio forzado del 1 segundo (VEF1)

Se representa la gráfica de los valores del porcentaje logrado respecto del teórico para VEF1 en las 110 espirómetros y se traza la línea del porcentaje considerado como normal

Respecto de la relación **VEF1/CVF** la tabla describe un valor mínimo y máximo teórico de 74.8 % y de 86.5 % respectivamente; con un resultado mínimo y máximo obtenido en las pruebas espirométricas de 58.4 % y 100 % y un promedio de 82.7 %; y un menor y mayor % logrado respecto del teórico de 70% y 124% respectivamente. En consecuencia, 1 sujeto (0.9%) obtuvo un resultado por debajo del 70% respecto del teórico calculado y 109 sujetos (99.1%) con un porcentaje mayor a 70 considerado como normal. El gráfico 18 muestra la distribución de los porcentajes logrados por los sujetos respecto de los teóricos calculados.

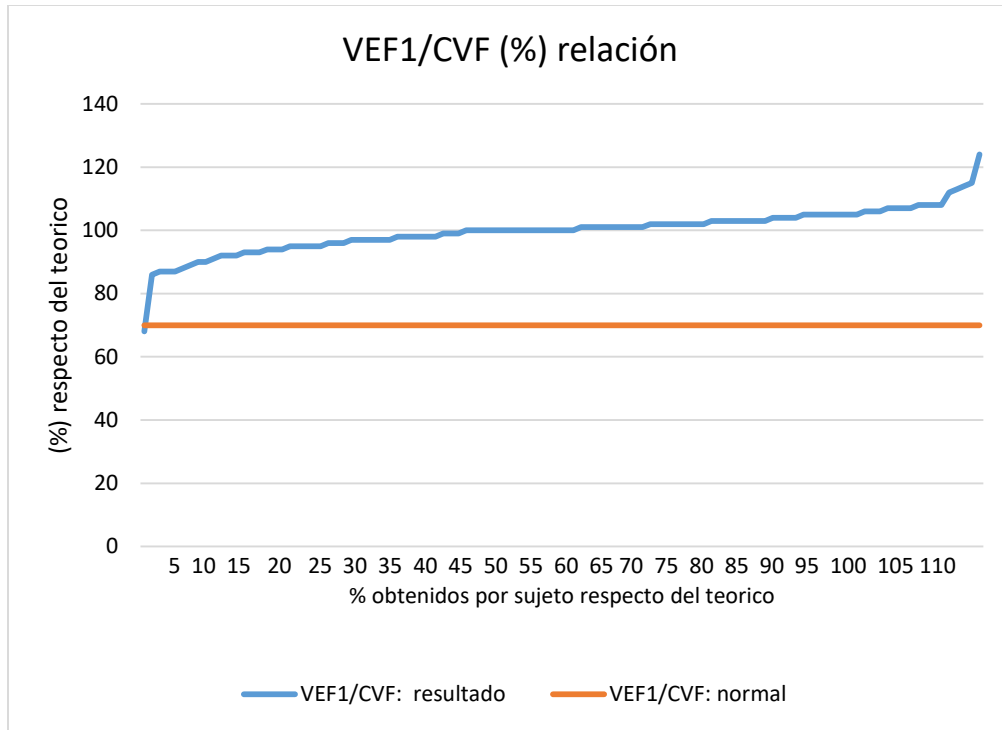
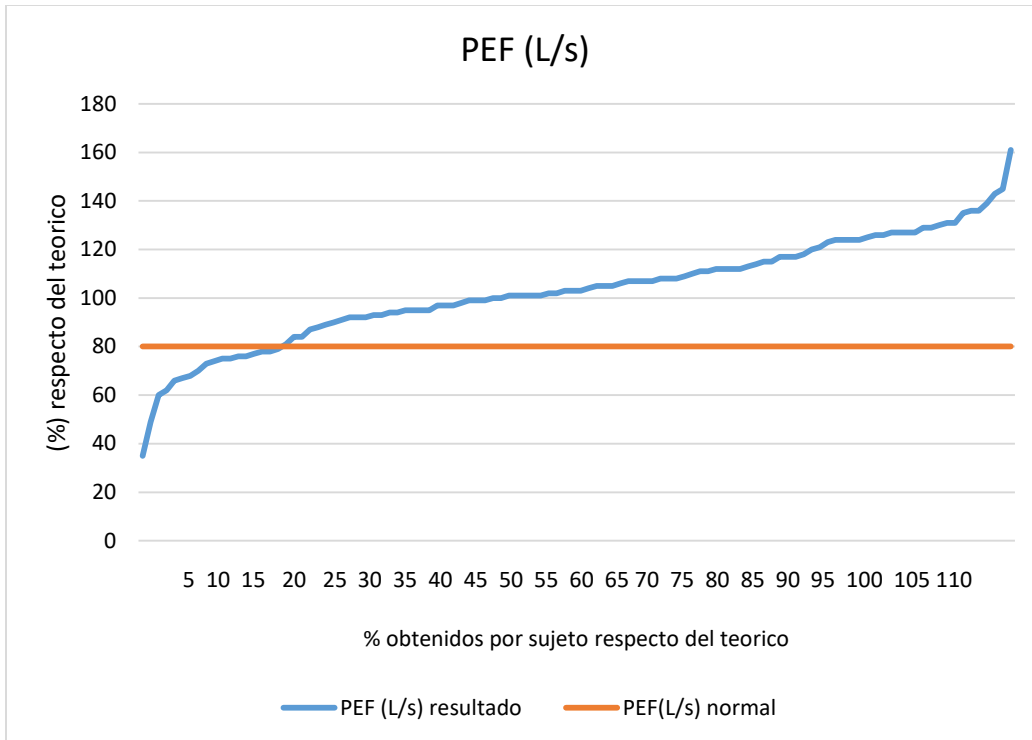


Gráfico 18: Comportamiento de la relación CVF/ VEF1

Se representa la gráfica de los valores del porcentaje logrado respecto del teórico para CVF/VEF1 en las 110 espirómetrias y se traza la línea del porcentaje considerado como normal

Para la variable **PEF** la tabla describe un valor mínimo y máximo teórico de 6.64 L/s y de 10.38 L/s respectivamente; con un resultado mínimo y máximo obtenido en las pruebas espirómetricas de 3.28 L/s y 12.6 L/s y un promedio de 8.86 L/s; y un menor y mayor % logrado respecto del teórico de 35% y 161% respectivamente. En consecuencia, se hallaron 18 sujetos (16.3%) por debajo del 80% respecto del teórico calculado y 92 sujetos (83.7%) con un porcentaje mayor a 80 considerado como normal. El gráfico 19 muestra la distribución de los porcentajes logrados por los sujetos respecto de los teóricos calculados



152

Se representa la gráfica de los valores del porcentaje logrado respecto del teórico para PEF en las 110 espirómetrias y se traza la línea del porcentaje considerado como normal

Finalmente, para la variable **FEF2575** la tabla describe un valor mínimo y máximo teórico de 3.11 L/s y de 5.33 L/s respectivamente; con un resultado mínimo y máximo obtenido en las pruebas espirométricas de 1.57 L/s y 7.43 L/s y un promedio de 3.90 L/s; y un menor y mayor % logrado respecto del teórico de 39% y 156% respectivamente. En consecuencia, se hallaron 11 sujetos (10%) por debajo del 60% respecto del teórico calculado y 99 sujetos (90%) con un porcentaje mayor a 60% considerado como normal. El grafico 20 muestra la distribución de los porcentajes logrados por los sujetos respecto de los teóricos calculados.

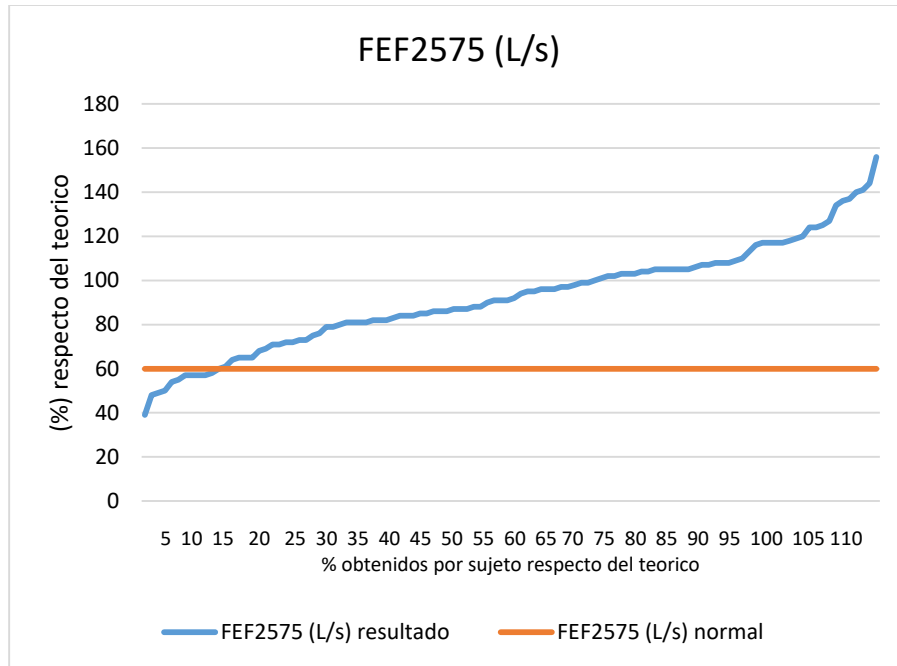


Gráfico 20: Comportamiento del FEF2575

Se representa la gráfica de los valores del porcentaje logrado respecto del teórico para FEF2575 en las 110 espirómetros y se traza la línea del porcentaje considerado como normal

Una vez definidos los comportamientos de cada variable, se procede al análisis completo del examen, entendiendo que la comprensión del resultado de la espirometría depende de la interacción de las variables. De esta manera, para cada una de Las 110 espirómetros incluidas en el estudio se realizó el análisis del patrón espirométrico y el nivel de afectación.

9.5.3 Interpretación de resultados espirométricos.

❖ Patrón espirométrico

En primer lugar se realizó el análisis del patrón espirométrico que presentaba la prueba, este fue catalogado como Normal, restrictivo, obstructivo y mixto, interpretados del valor porcentual de las variables VEF1 y CVF respecto del valor predicho para cada sujeto. Los resultados

porcentuales de estas variables fueron tomados de la maniobra que presento los valores de la mejor curva, es decir la mejor maniobra realizada y catalogada por el *software MIR WinSpiro Pro*.

Para facilitar la interpretación anterior, tomamos el resumen del siguiente algoritmo, dando la importancia del análisis en conjunto de las variables y acercándonos a un diagnóstico de mayor precisión en la prueba.

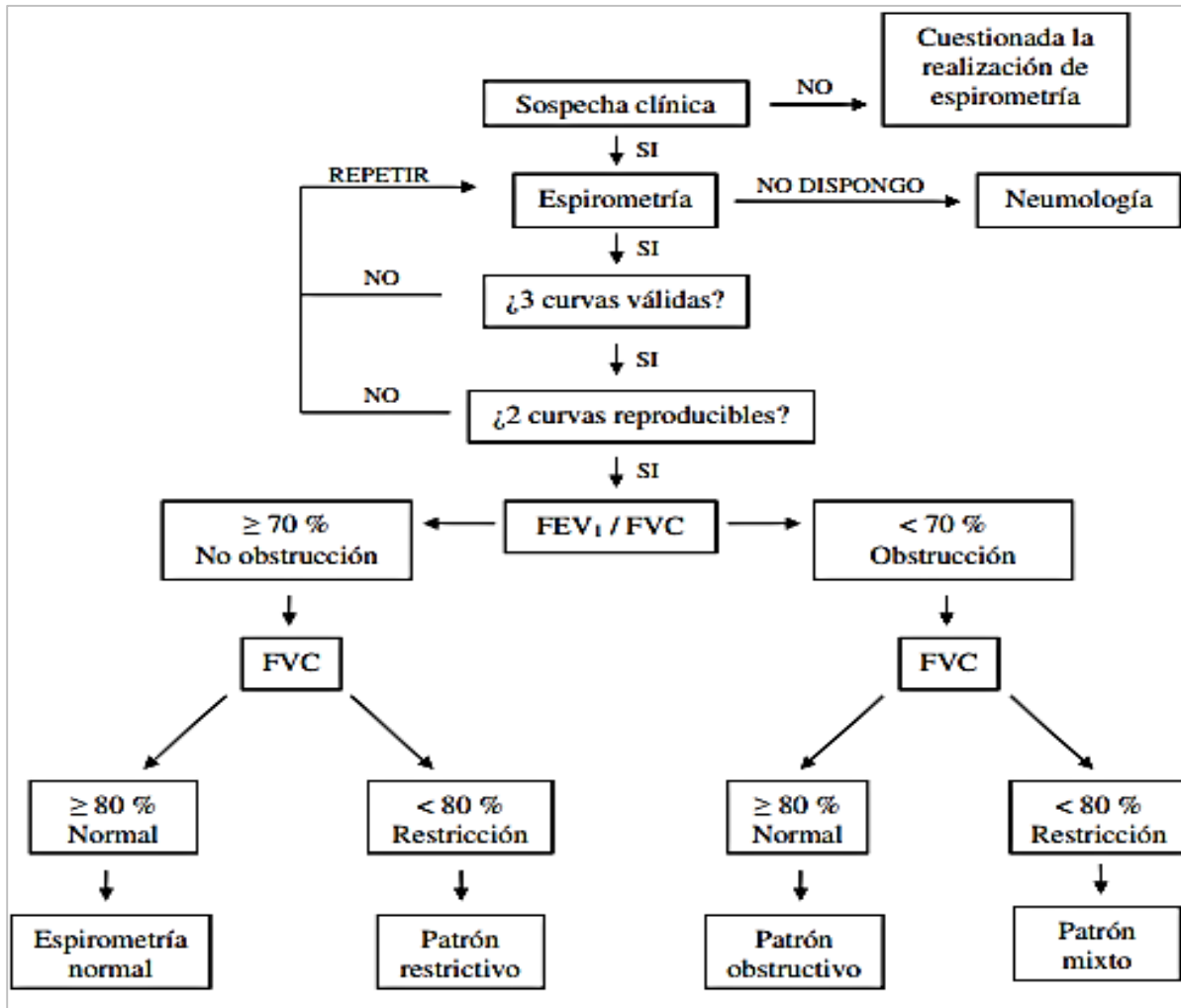


Figura 7. Algoritmo de interpretación de la espirometría

Fuente: Cuadernos De Atención Primaria (2015). Capítulo 4 (p.10).

De esta manera, un patrón normal será aquel en que su relación VEF1/CVF haya obtenido un resultado mayor o igual al 70% respecto del teórico y una CVF mayor o igual al 80% respecto del

teórico; un patrón restrictivo será aquel en que su relación VEF1/CVF haya obtenido un resultado mayor o igual al 70% respecto del teórico y una CVF menor al 80% respecto del teórico; Un patrón obstructivo será aquel en que su relación VEF1/CVF haya obtenido un resultado menor al 70% respecto del teórico y una CVF mayor o igual al 80% respecto del teórico; y finalmente un patrón espirométrico mixto será aquel en que su relación VEF1/CVF haya obtenido un resultado menor al 70% respecto del teórico y una CVF menor al 80% respecto del teórico.

Para facilitar este análisis utilizamos el cuadrante de *Miller* como una figura que nos ayuda a determinar a qué patrón espirométrico pertenecen los resultados obtenidos a partir de la gráfica en la cual la CVF en porcentaje respecto de lo teórico en el eje vertical y VEF1/CVF en el eje horizontal se unen. Para cada uno de los resultados el cruce de estas coordenadas se puede determinar en la siguiente gráfica 21:

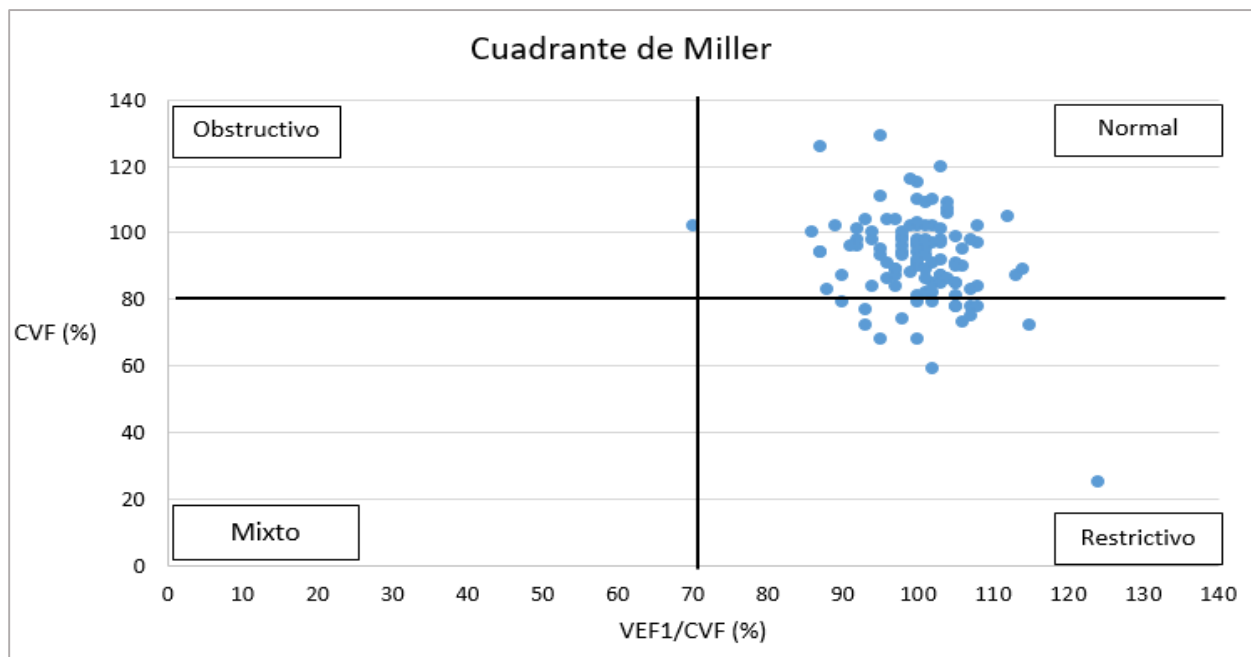


Gráfico 21: Distribución de patrón espirométrico en toda la población en cuadrante de Miller

Se representa la gráfica el Comportamiento del patrón espirométrico obtenido según el punto de cruce entre el % respecto del teórico de la CVF y VEF1/CVF

La grafica 21 permite describir la distribución en la población el patrón espirométrico. En ella, se observa que la mayor parte de las espirómetrias en los ciclistas tienen un patrón funcional normal. A partir de ello, se crean 2 grupos el primero los sujetos que obtuvieron una espirómetria normal, y en segundo lugar una espirómetria no normal (patrón espirométrico distinto a normal). Obteniendo la siguiente gráfica 22:

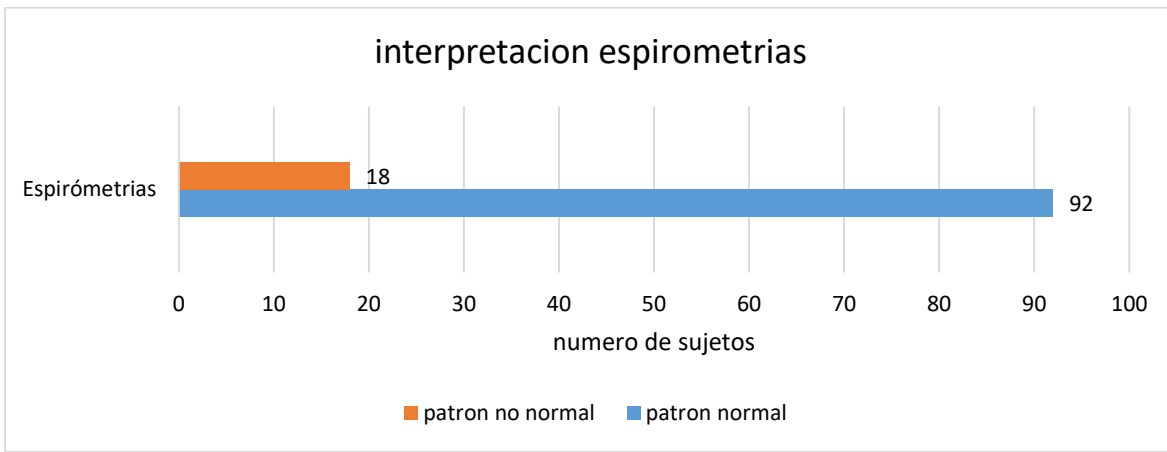


Gráfico 22: grupo espirómetrias con patrón normal y grupo con patrón no normal
Espirómetrias con patrón normal (n=92) vs espirómetrias con patrón no normal (n=18)

La grafica 22 nos presenta como resultado 18 de las 110 espirómetrias presentaron un patrón diferente al normal, lo que equivale a un 16.36% de la muestra. Este grupo los resultados está conformado entre patrón restrictivo y obstructivo resaltando que la evaluación de las espirómetrias no encontró patrón mixto, obteniendo la siguiente grafica 23:

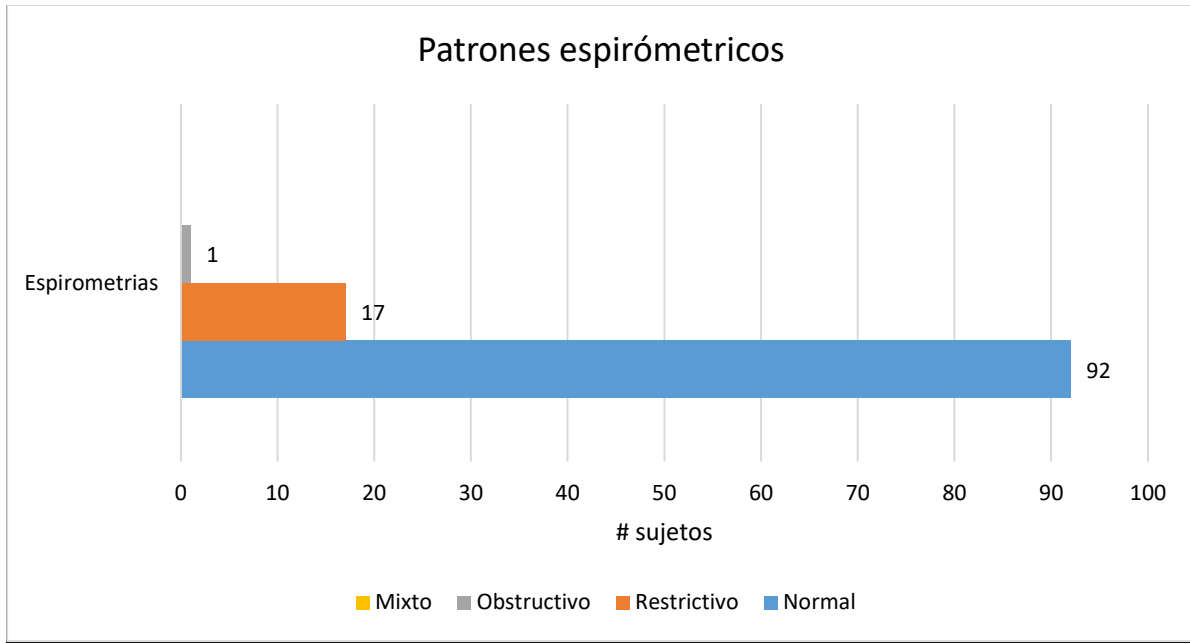


Grafico 23: patrones espirométricos hallados
 (Normal=92) (Restrictivo=17) (Obstructivo=1) (Mixto=0)

La grafica 23 permite describir los patrones espirométricos. En ella, se observa que 92 sujetos obtuvieron un patrón funcional normal, 17 sujetos un patrón restrictivo y 1 sujeto un patrón obstructivo.

❖ ***Nivel de afectación.***

El siguiente paso una vez definido el patrón de la espirometría, fue establecer el nivel de afectación en aquellos patrones restrictivos y obstructivos hallados. Para ello se determina según parámetros descritos por SEPAR y la American Thoracic Society, un nivel leve, moderado, grave o muy grave (ver tabla 8). La afectación se define desde el análisis del comportamiento de la variable VEF1 según el porcentaje obtenido respecto del teórico.

Tabla 8:

Clasificación de gravedad según los resultados espirométricos

Normativas	Niveles de gravedad	Patrón obstructivo fijarse en la VEF1	Patrón restrictivo: fijarse en la CVF	Patrón mixto
SEPAR	Leve	Mayor o igual al 65 %	Mayor o igual al 65 %	Informar por separado del componente obstructivo (FEV1) y del restrictivo (FVC)
	Moderado	50 – 64 %	50 – 64 %	
	Grave	35 – 49 %	35 – 49 %	
	Muy grave	Menor del 35 %	Menor del 35 %	
ATS / ERS	Leve	Mayor o igual al 70 %	Mayor o igual al 70 %	
	Moderado	60 – 69 %	60 – 69 %	
	Moderado grave	50 – 59 %	50 – 59 %	
	Grave	35 – 49 %	35 – 49 %	
	Muy grave	Menor del 35 %	Menor del 35 %	

Fuente: Cuadernos De Atención Primaria (2015). Capítulo 4 (p.15):

En total se obtuvo para las espirómetros con patrón restrictivo por calificación SEPAR 15 sujetos con un nivel de afectación leve y 2 sujetos con un nivel moderado; entre tanto este grupo con calificación ATS obtuvo 14 con nivel de afectación leve, 2 con nivel moderado y 1 con nivel moderado –grave. Así mismo, las dos clasificaciones indican que la espirometría con patrón

obstructivo es calificada con nivel de afectación leve. Estos resultados son descritos en la gráfica 24.

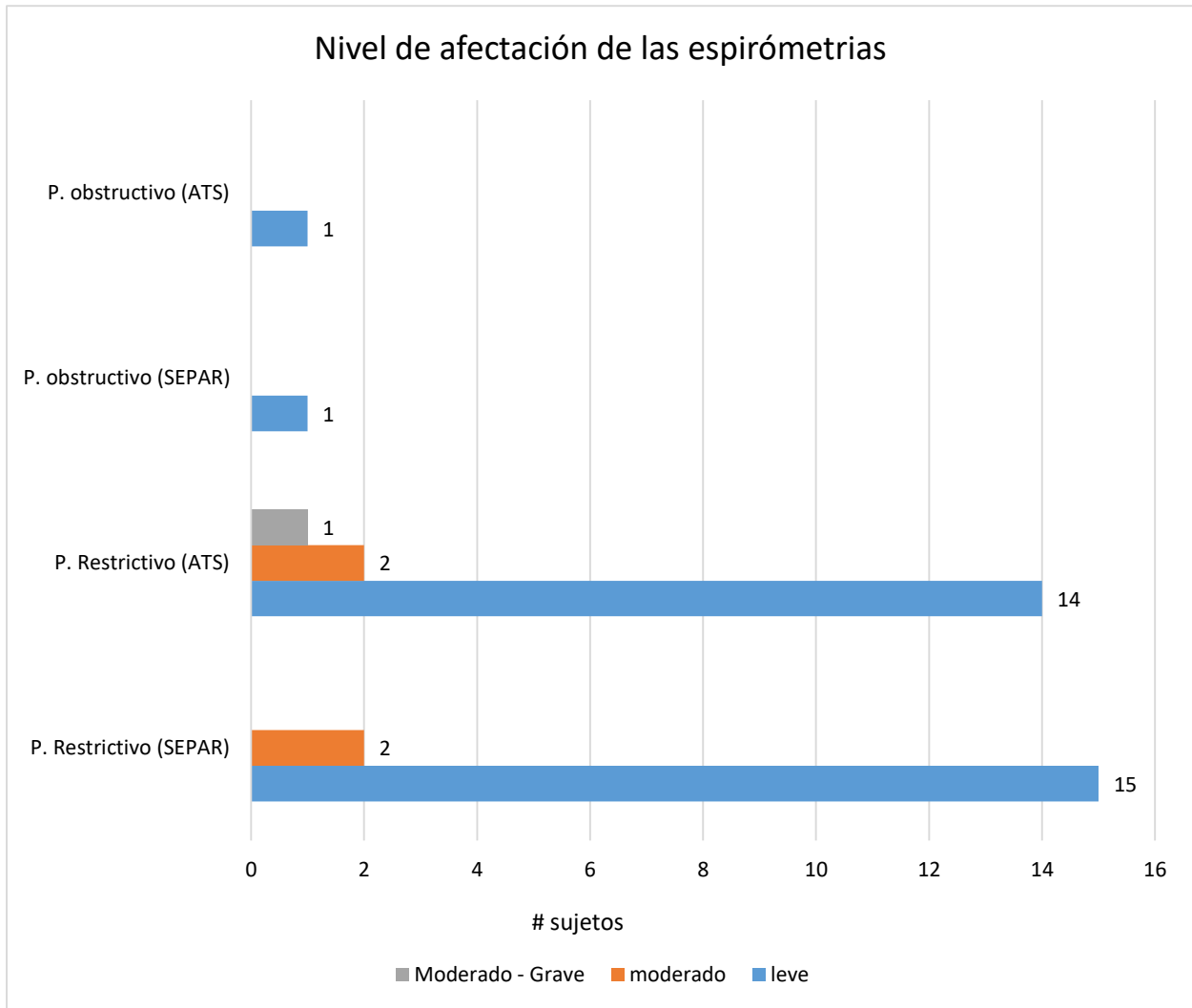


Gráfico 24: Nivel de afectación hallado (obstructivo 1 por SEPAR y ATS nivel leve) (Restrictivo por SEPAR 15 leves 2 Moderados) (restrictivo por ATS 14 leves, 2 moderados y 1 moderado grave)

El siguiente paso consistió en obtener los promedios de las variables espirométricas en cada grupo de patrones espirométricos los cuales se describen en la siguiente tabla 20.

Tabla 20:

Comportamiento promedio de las variables espirométricas en porcentajes para cada grupo por patrón

PATRÓN	VARIABLE	VEF1/CVF	CVF	VEF1	PEF	FEF 25 -75
Normal (n=92)		97,62	96,044	95,2	107,1	95,6
Restrictivo (n=17)		102	71,294	72,82	84	78
Obstructivo (n=1)		70	102	70	62	41

Nota: Se comparan los promedios de los porcentajes hallados respecto de los predichos para cada grupo de patrón espirométrico.

El VEF1 para los sujetos con alteración en el patrón a restrictivo obtiene un promedio de 72,8% 13% menos del grupo con patrón normal.

9.6. Análisis de correspondencias.

Se realiza una descripción de la base de datos a través del cálculo de estadísticas y de gráficos descriptivos univariados (Crawley, 2015). Luego, para evaluar la asociación entre las variables demográficas y el patrón espirométrico, se construyen clústeres de individuos usando un análisis de clasificación jerárquica (Husson et al., 2010; Pardo & Del Campo, 2007) sobre las coordenadas de un análisis de correspondencias múltiples (Pages, 2004; Lebart, 2005; Lebart, 2006) de dichas variables y luego la aplicación de la prueba chi cuadrado (Gibbons, 2003).

Con el análisis descriptivo presentado, se realizó una caracterización de los clústeres (clusETP) construidos con base a las variables demográficas (ver grafica 24). Estos se pueden interpretar como los patrones de comportamiento de los individuos en la muestra recolectada en función de dichas

variables. La muestra de estudio obtuvo una edad promedio de 37.2 años, un peso promedio de 107 kg y una talla con valores alrededor de los 189 cm.

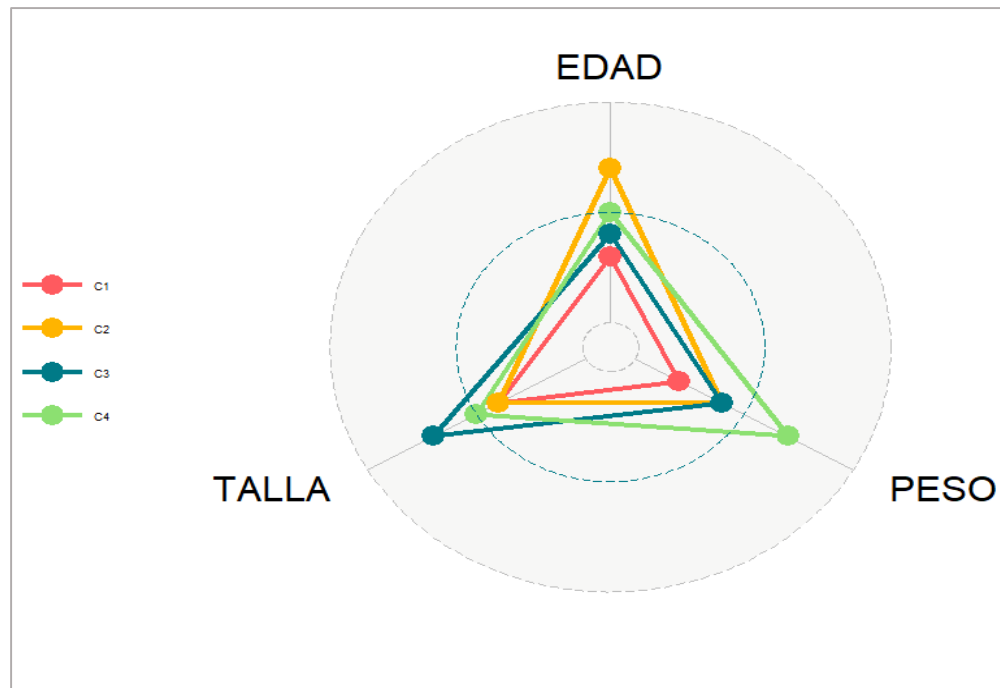


Gráfico 25: ClustETP de variables demográficas

En la gráfica 25, Se definen cuatro patrones:

- ❖ **C1:** Corresponde a los individuos que en las variables de edad, peso y talla se encuentran por debajo del promedio
- ❖ **C2:** Corresponde a la variable edad por encima del promedio y las variables peso y talla por debajo de este.
- ❖ **C3:** Corresponde a la variable talla por en encima del promedio y las variables peso y edad por debajo de este.
- ❖ **C4:** Corresponde a la variable peso por en encima del promedio y las variables peso y edad por debajo de este.
- ❖ **El promedio** es representado por la circunferencia interna de la grafica

Una vez definidos los ClustETP son separados en las categorías de no normal y normal (según patrón espirométrico). Se evalúa la asociación entre la función pulmonar y el perfil demográfico a través de una prueba chi cuadrado entre el patrón espirométrico y la variable clustETP, se obtiene un valor-p de 0.96 por lo que se estima la independencia entre dichas variables. Como se observa en la gráfica 26 la distribución del patrón espirométrico en función de los ClustETP demográficos es similar en los dos grupos. Es de resaltar que los colores se relacionan con cada uno de los 4 patrones definidos anteriormente.

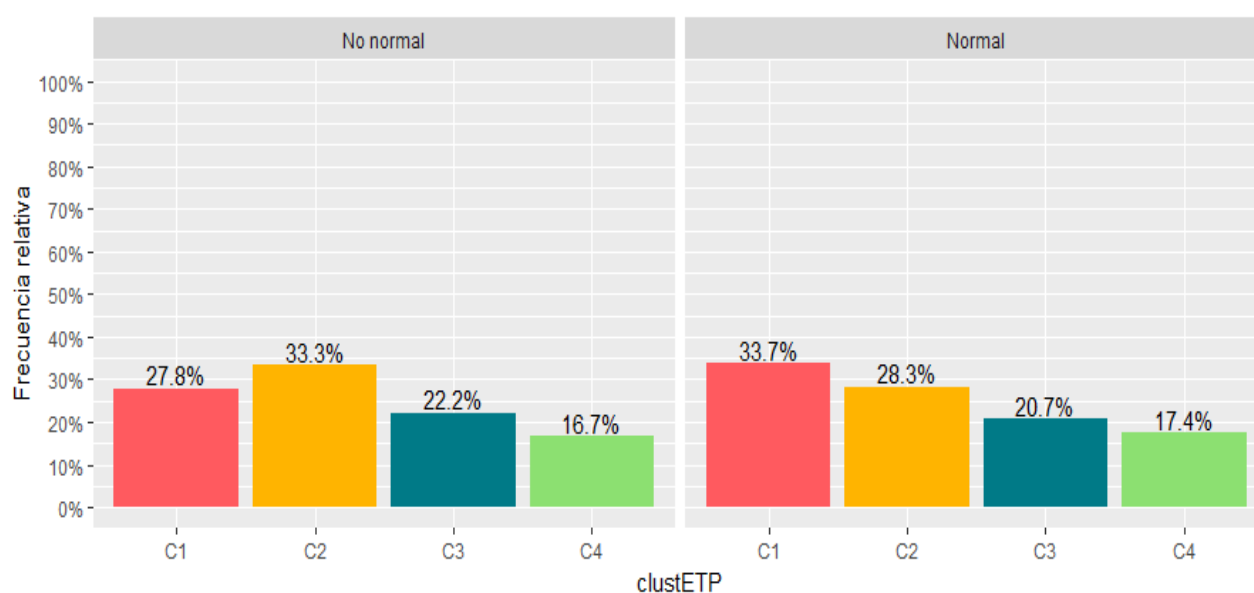


Gráfico 26: ClustETP demográficas por grupo espirométricos con patrón normal y grupo con patrón no normal

Para estudiar la relación entre las variables de frecuencia y uso de la bicicleta, y el tipo de patrón espirométrico se realizan pruebas chi cuadrado. Todos los procedimientos se realizan en el *software R* (R Core Team, 2018). En seguida, Se definen los ClustETP de variables de frecuencia y uso de la bicicleta y son separados en las categorías de no normal y normal (según patrón espirométrico). Se evalúa la asociación entre la función pulmonar y el perfil de uso de la bicicleta en la cicloruta a través de una prueba chi cuadrado entre el patrón espirométrico y la variable clustETP

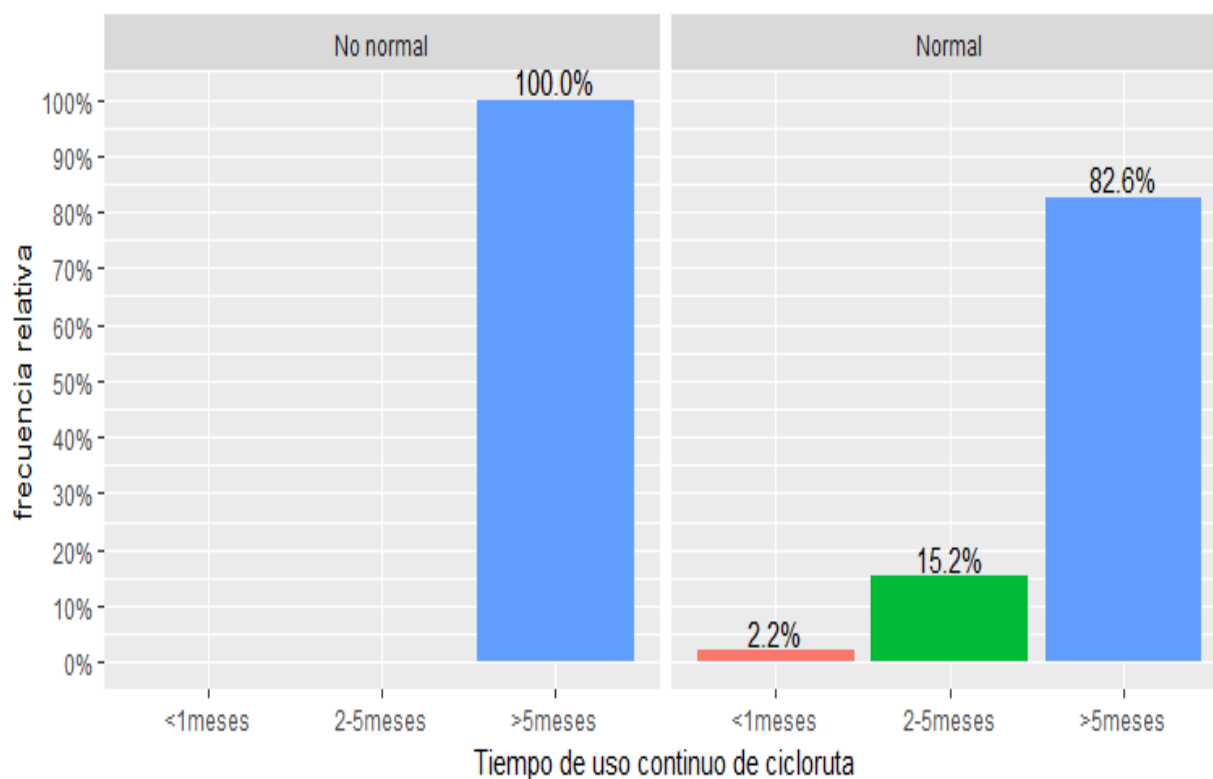


Gráfico 26: ClustETP tiempo de uso de la bicicleta por grupo espirómetros con patrón normal y grupo con patrón no normal

La gráfica 26 representa la composición de las categorías de patrón espirométrico en función del tiempo de uso de la bicicleta en la ciclo ruta. Podemos observar que el 100% de los sujetos con resultados de las espirómetros con patrón no normal hace uso de la bicicleta hace más de 5 meses por las ciclorutas de la ciudad. Para verificar la relación entre esta variable y el tipo de función pulmonar se realizan de nuevo pruebas chi cuadrado y se obtiene para tiempo de uso un valor-p de 0.16. Por lo anterior, no se encuentra asociación estadística entre tiempo de uso y el patrón espirométrico no normal.

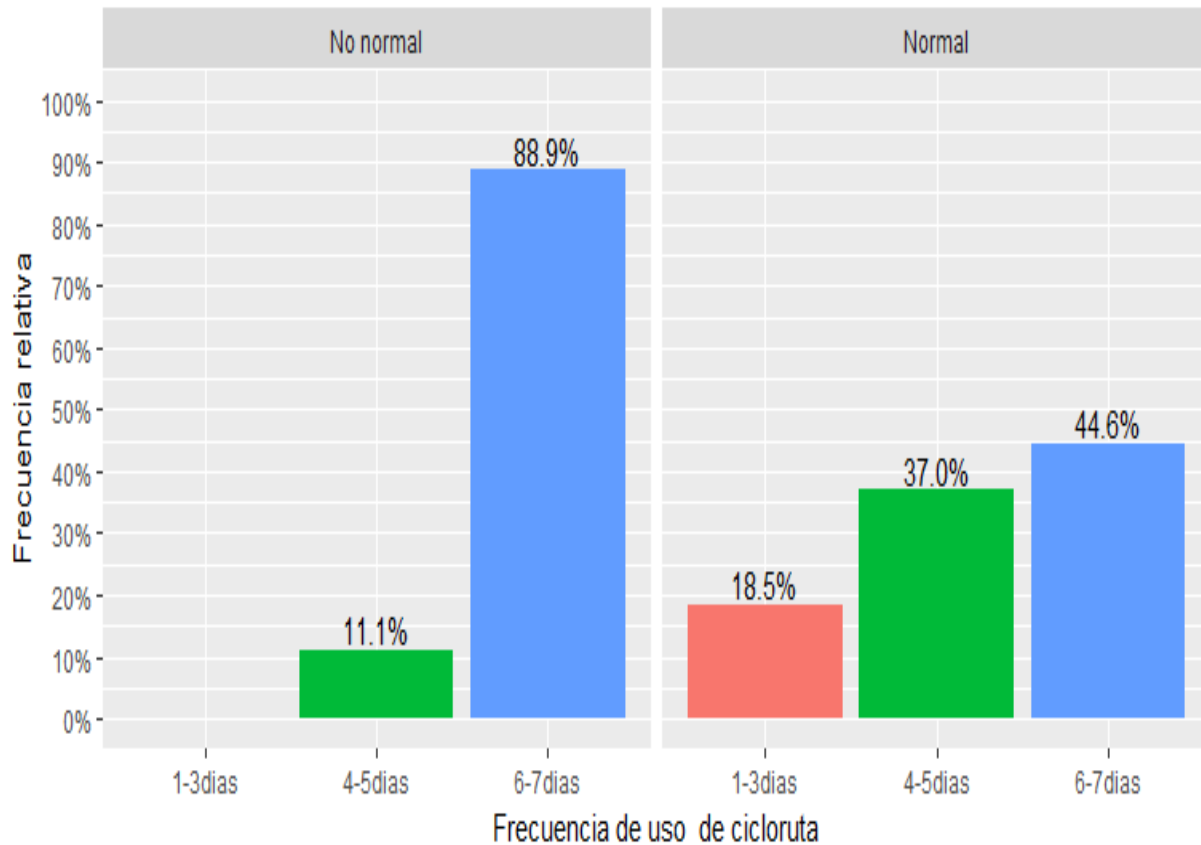


Gráfico 27: ClustETP frecuencia de uso de la bicicleta por grupo espirómetros con patrón normal y grupo con patrón no normal

El mismo proceso se realiza para la composición de las categorías de patrón espirométrico en función de la frecuencia de uso de la bicicleta a la semana representados en la gráfica 27. Una vez más, para verificar la relación entre esta variable y el tipo de función pulmonar se realizan pruebas chi cuadrado y se obtiene para frecuencia de uso un valor-p 0.001. Por lo anterior, podemos encontrar asociación estadística entre la frecuencia de uso y el patrón espirométrico no normal.

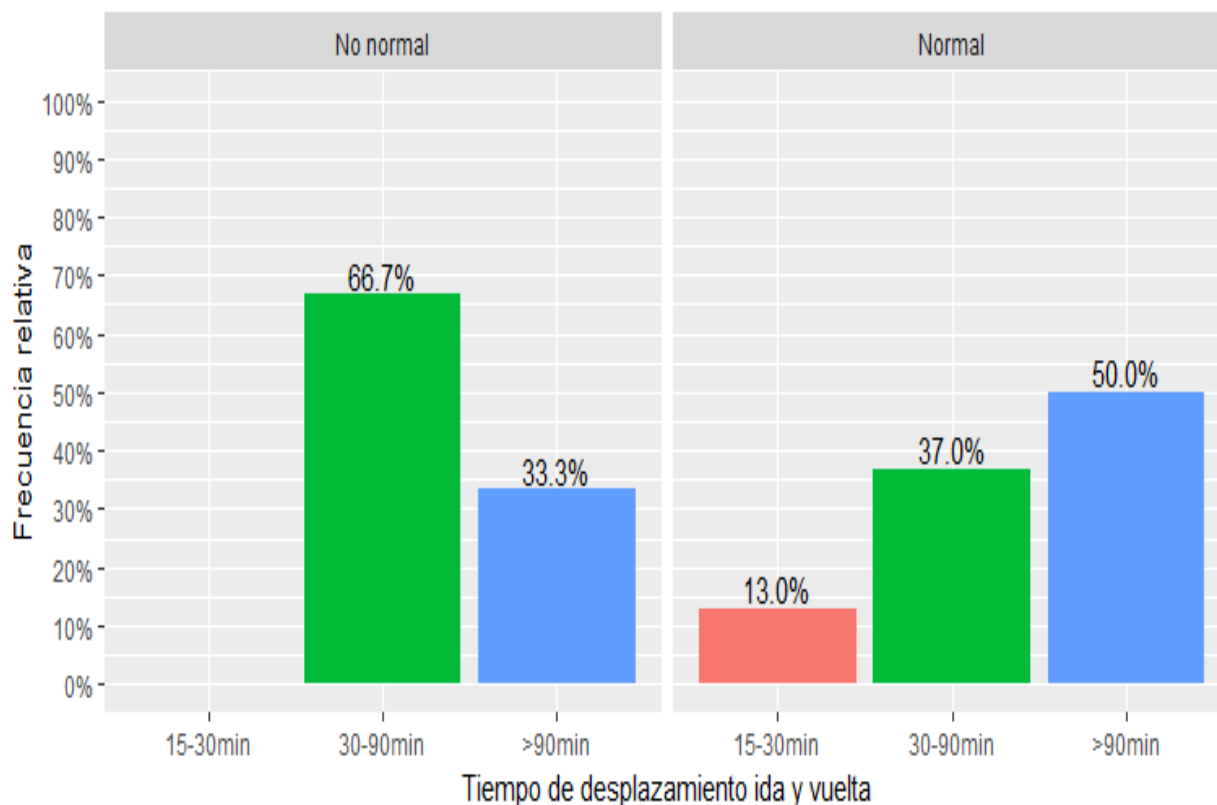


Grafico 28: ClustETP tiempo de desplazamiento por grupo espirómetros con patrón normal y grupo con patrón no normal

Finalmente, respecto de la composición de las categorías de patrón espirométrico en función del tiempo de desplazamiento en los recorridos de bicicleta, una vez definidos los ClustETP se realizan pruebas chi cuadrado y se obtiene para tiempo de desplazamiento un valor $-p$ de 0.031. Por lo anterior, podemos encontrar asociación estadística entre el tiempo de desplazamiento en la bicicleta y el patrón espirométrico no normal

En consecuencia, resulta válido afirmar que existe en la muestra recolectada, una asociación estadística entre la función pulmonar con patrón no normal y la frecuencia de uso de la ciclo ruta ($<p$ 0.001) por 6 a 7 días y con el tiempo de desplazamiento ida y vuelta ($<p$ 0.031) para viajes entre 30 y 90 minutos.

10. Discusión

A pesar de los esfuerzos gubernamentales en Bogotá por promover la sustitución del transporte a motor por el uso de la bicicleta, esta investigación considera que mientras se da esta transición a otros métodos de transporte más amigables con el aire ambiente, la contaminación del aire continúa siendo un desafío para los profesionales de la salud por sus posibles eventos adversos en la salud de las personas que realizan actividad física al aire libre. Según lo revisado en la evidencia, este estudio es el primer informe acerca de la salud respiratoria de las personas que utilizan la cicloruta en Bogotá, especialmente en una de las ciclo rutas de la localidad con mayores índices de contaminación del aire en la capital.

En este estudio descriptivo transversal, encontramos que un grupo de ciclistas frecuentes en la ciclo ruta de la localidad Kennedy, no fumadores y con trabajos de mínima exposición a contaminantes que afecten las vías respiratorias, se desplazan en franjas horarias en las que el aumento de las concentraciones de PM10 y PM2.5 supera los límites establecidos por la OMS, el 16.7% de esta población presenta algún tipo de alteración en la función pulmonar. De igual manera se halló, una asociación estadística entre la función pulmonar con patrón espirométrico “no normal” y la frecuencia de uso de la ciclo ruta de 6 a 7 días y con el tiempo de desplazamiento ida y vuelta de 30 a 90 minutos. Por lo que se conoce hasta el momento en cuanto a evidencia al respecto, esta investigación caracteriza el uso de la bicicleta y encuentra una relación en este y la exposición a contaminantes no observada en otras investigaciones.

En consecuencia, los resultados descritos de este estudio comprenden la posibilidad de cuantificar la exposición de los ciclistas urbanos al aire ambiente según la franja horaria de

desplazamiento en bicicleta, según el tiempo de duración de los desplazamientos, según la frecuencia de uso semanal, y según el tiempo acumulado en meses de tránsito por las ciclo rutas.

Otros estudios también han informado asociaciones estadísticas más fuertes entre algún tipo de deterioro en las variables espirométricas de personas que se ejercitan al aire libre. Chandrasekharan et al. (2015), encontró luego de evaluar con espirometría a 378 deportistas al aire libre y comparar los resultados totales de la población respecto de los valores de referencia para la India, que los resultados obtenidos por el grupo de deportistas al aire libre presentaron una disminución en el volumen espiratorio forzado en 1 segundo (VEF1) con un valor de $p < 0.001$ y un aumento de 2.32% a 8.69% el riesgo de ubicar el valor menor al 80% del teórico, y una disminución de la tasa de flujo espiratorio máximo (PEFR) con un valor de $p < 0.001$, y un aumento de 0.78% a 2.91% del riesgo de obtener sus valores menores al 80% del teórico calculado, comparados con valores de referencia espirométricos para la población en India. Esta investigación también se monitorizó la calidad del aire ambiente encontrando concentraciones más altas de PM_{2.5} en todas las ubicaciones de estudio en comparación con los niveles permisibles recomendados para áreas residenciales en India. El estudio demuestra que los deportistas que realizan actividades al aire libre en lugares con altas concentraciones de PM tienen riesgo de deterioro de la función pulmonar.

En nuestra investigación, el diagnóstico de las variables espirométricas se resume en que CVF obtuvo un 15.4% ($n=14$) $< 80\%$ del valor teórico; el VEF1 un 11.8% ($n=13$) $< 80\%$ del valor teórico; FEF_{25.75} un 10% (11) $< 60\%$ del valor teórico; si fuese posible realizar seguimiento de las variables de función pulmonar podría establecerse la correlación con el seguimiento a la contaminación del aire, tal como lo expuesto por Rice et al (2015), quienes establecen por medio de la asociación estadística en diferentes periodos, que cada aumento de 2 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ en promedio de PM_{2.5} se asocia con una disminución del VEF1 de un 2.1 ml / año (95% CI, 24.1 a 20.2) y la

CVF obtienen similares asociaciones en personas expuestas a estos contaminantes; por lo tanto, bajo la experiencia de nuestra investigación se sugiere diseñar un estudio de seguimiento a diferentes grupos entre ellos los que realizan actividad física al aire libre y correlacionarlos con el seguimiento al comportamiento de los contaminantes a mediano y largo plazo

Así mismo, En una revisión realizada por Giles y Koehle (2014) se informó como los ciclistas urbanos pueden estar más expuestos a los contaminantes del aire, que las personas que se desplazan por las ciudades con otros métodos de transporte. Este autor indica que En niveles de ejercicio submáximos (a una potencia de salida de aproximadamente 100 W o ventilación de aproximadamente 35 L/min), la respiración cambia de predominantemente nasal a oral. Esta transición causa que al ser pasada por alto el sistema de filtración nasal, sumada al aumento de la ventilación minuto por el ejercicio, quien realiza ciclismo en ambientes urbanos puede aumentar la dosis de contaminantes que ingresan al cuerpo, lo cual puede exacerbar los efectos de la contaminación del aire en la salud. Además, este autor indica que el aumento de la ventilación por minuto producto del ejercicio, conduce a una mayor fracción de deposición de contaminantes en las vías aéreas (fracción de deposición, 0.6 en reposo, 0.8 durante el ejercicio). Este problema presenta un desafío interesante de equilibrar los efectos beneficiosos del ejercicio junto con los efectos perjudiciales de la contaminación del aire sobre la salud, en relación con nuestra investigación, el 18% de la muestra, individuos sanos y activos físicamente, presento alteración de la función pulmonar presentando un patrón restrictivo entre leve y moderado, por lo que para estos sujetos en particular, la práctica de actividad física en bicicleta en la ciclo ruta podría relacionarse con un efecto no beneficioso para su salud respiratoria.

Sin embargo, los datos obtenidos en nuestro estudio por ser una evaluación en un momento específico de la población, no nos permiten establecer si esta respuesta en los sujetos del grupo con resultado en la espirometría “no normal” tiene relación con una respuesta aguda a la contaminación del aire o por el contrario, se trata de un patrón crónico. Creemos que la reciente investigación cuasi experimental de Wagner et al (2018) podría inclinarnos a plantear que los resultados de estos sujetos hacen parte de un proceso continuo de largo tiempo. Estos autores realizan un estudio en el cual 5 hombres y 11 mujeres adultos jóvenes se ejercitaron al aire libre, durante un tiempo determinado en un cicloergometro. En esta investigación, los sujetos realizaban el ejercicio continuo en un primer ensayo respirando el aire ambiente a concentraciones bajas de PM_{2.5} (<12mg / m³), y en un segundo momento respirando cuando el aire indicaba un índice de índice de calidad del aire (AQI) de "amarillo" (13 - 35mg / m³); también se planteó para el mismo grupo una condición de reposo en los dos momentos de concentraciones de PM 2.5 evaluado 48 horas antes de las pruebas de ejercicio. En el estudio además, se evaluó por medio de espirometría el VEF1 y la CVF pre y post reposo y ejercicio reflejadas en el siguiente tabla 1 del estudio citado:

	FVC (L)			FEV ₁ (L)	
	Low PM _{2.5}	High PM _{2.5}		Low PM _{2.5}	High PM _{2.5}
Baseline	4.39 (0.99)	4.50 (0.90)	Time	3.55 (0.88)	3.70 (0.85)
Post-rest	4.32 (1.00)	4.43 (0.97)	<i>p</i> = .336	3.53 (0.89)	3.66 (0.86)
Post-exercise	4.38 (1.01)	4.44 (1.05)		3.56 (0.92)	3.63 (0.95)
	Trial <i>p</i> = .071			Trail <i>p</i> = .035*	
	Trial x Time <i>p</i> = .729			Trial x Time <i>p</i> = .551	

El principal hallazgo reportado por este estudio fue que un episodio agudo de ejercicio vigoroso en la contaminación ambiental de PM_{2.5} equivalente a un AQI de "amarillo" no tuvo un efecto negativo en las pruebas de función pulmonar para ninguna de las dos variables tanto en reposo

como en ejercicio en cicloergometro. Los investigadores concluyen que las pruebas de la función pulmonar de adultos sanos pueden no ser lo suficientemente sensibles como para detectar pequeños efectos nocivos que probablemente se produzcan por la **exposición aguda** a la contaminación ambiental moderada por PM_{2.5}. Cabe resaltar que no hubo relaciones dosis-respuesta (p valor $> .05$) para la concentración de PM_{2.5} y las variables medidas. En consecuencia, creemos que los resultados de nuestro estudio pueden hacer referencia a una respuesta crónica de la bici usuarios del grupo “no normal”. De cualquier manera, se hace necesario continuar las investigaciones al respecto.

Por otro lado, nuestra investigación caracterizo el patrón espirométrico y el nivel de afectación de los sujetos del grupo de espirómetros no normal considerando este grupo de sujetos con algún deterioro de la función pulmonar. Respecto de lo anterior, Giles y Koehle (2014) refiere que los contaminantes del aire son irritantes respiratorios que pueden alterar patrones de respiración durante el ejercicio. Este autor indica que los efectos de la exposición a PM durante el ejercicio en el patrón de respiración no se han estudiado. En consecuencia, y por lo revisado en la evidencia, nuestro estudio tiene la característica particular diferente de otras investigaciones en caracterizar más allá de las variables espirométricas, el patrón y el nivel de afectación.

Otro aspecto a considerar, tienen que ver que en los actuales datos de investigación, se estima que la cercanía de los ciclistas en los bici carriles o ciclo rutas, con el tráfico vehicular es uno de los principales mecanismos que los expone a inhalar aire contaminado; esto coincide con lo expuesto por, Herrmann, et al (2017) quienes refieren que si bien la contaminación es una preocupación para todos los habitantes de una ciudad, los ciclistas son uno de los grupos más expuestos debido a su proximidad a los tubos de escape del vehículo a motor. Estos autores proponen nuevas soluciones para ayudar a proteger a los ciudadanos, especialmente a los ciclistas,

de los efectos nocivos de las emisiones de gases de escape principalmente de los vehículos a través de nueva tecnología automotor, por nuestra parte y por lo que la experiencia del estudio nos deja, proponemos evaluar la infraestructura y los recorridos de la construcción de las ciclorutas así como evaluar medidas de protección para los ciclistas como mascarar nasales, y generar mecanismos de información y prevención para los sujetos; estos aspectos, deberán ser motivo de nuevas investigaciones.

Respecto del comportamiento descrito del PM en nuestro estudio, se observa como un promedio del PM diario puede ser un valor subestimado de la real contaminación a la que se expone un sujeto dado que encontramos que existen franjas horarias de concentraciones elevadas las cuales coinciden con el momento de desplazamiento de los ciclistas. Lo anterior, concuerda con Campbell et al. (2005) quienes en su estudio, realizan un análisis de las bases de datos de promedios de contaminación del aire en la ciudad de Toronto encontrando una variación de los niveles de contaminantes a lo largo del día, allí los autores refieren que las concentraciones de algunos contaminantes son más altos durante el mediodía, y otros siendo más alta con la hora pico de la mañana, por lo anterior, se refuerza el argumento que deben existir sugerencias para realizar actividad física al aire libre basadas en estos análisis alentando al público a mantener una actividad física regular pero sugiriendo franjas horarias de baja contaminación para su realización

Adicionalmente, nuestro estudio encontró que en la franja horaria de mayor desplazamiento de los bici usuarios por la ciclo ruta el material particulado PM10 y PM2.5 superaban los límites establecidos por la OMS. El PM10 con un rango entre min. $56.8 \mu/m^3$ – máx. $96.34 \mu/m^3$ y un promedio de $69.7 \mu/m^3$; El PM2.5 con un rango entre min. $24.32 \mu/m^3$ – máx. $52.8 \mu/m^3$ y un promedio de $35.8 \mu/m^3$; Investigaciones desarrolladas reportan algunos efectos nocivos para la salud atribuibles a la composición físico química e incluso biológica de los contaminantes

hallados, en similares concentraciones de contaminación por PM. Nanclares (2016) evaluó la presencia de bacterias asociadas con la fracción del material particulado PM_{2.5}. La investigación se adelantó en tres estaciones de monitoreo de calidad en el valle de aburra en Antioquia, Colombia tomando como referencia lugares cercanos a vías de alto tráfico vehicular. En esta zona el autor indica que la concentración de PM_{2.5} sobrepasa los 54 microgramos (μg) por m³ en ciertas franjas horarias e indica que la medida de concentración del contaminante oscilaba entre los 35 y 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, concentraciones similares a las reportadas anteriormente en nuestra investigación. En los resultados de este estudio el autor halló en las muestras de PM_{2.5} recolectadas, 26 especies de microorganismos. El autor indica que entre las bacterias halladas se encuentran las pertenecientes a las phyla (categoría taxonómica fundamental), como son Proteobacteria, Actinobacteria y Firmicutes, este último predominó en todos los puntos de muestreo con géneros como Bacillus, Staphylococcus, Paenibacillus, Lysinibacillus, Exiguobacterium y Macroccoccus, lesivas para el ser humano. Además, este investigador estimó una mayor presencia de microorganismos en las zonas urbanas, posiblemente influenciadas por la concentración de PM_{2.5}. Lo anterior nos lleva a pensar, que la exposición a PM que enfrentaron nuestros Bici usuarios podría además generar la inhalación de agentes biológicos nocivos, destacando que la anterior investigación encuentra en el aire contaminado un medio en el cual puede coexistir el desplazamiento de microorganismos nocivos para la salud humana.

Por otro lado, recientemente, Razaa et al (2018), realiza una revisión de evidencia en la cual Identifica 18 estudios de evaluación del impacto en la salud con el cambio en el modo de transporte. Este autor indica que la mayoría de los estudios investigaron futuros escenarios hipotéticos de aumento del ciclismo urbano. Los autores refieren que el impacto en la población general se estimó en unas investigaciones utilizando un enfoque de evaluación comparativa de

riesgos, mientras que otros estudios utilizaron estimaciones de costos previamente publicados. Una tercera tendencia en la investigación, plantea como la exposición a la contaminación del aire durante ciclismo urbano se estimó en función de la tasa de ventilación, la concentración del contaminante y la duración del viaje. Lo importante a resaltar de este autor y en lo cual nuestro estudio coincide es que existe una gran discrepancia entre los estudios debido a los diferentes enfoques desde salud a la hora de evaluar el impacto de la contaminación en la salud de los ciclistas, además de diferentes suposiciones para el cálculo de la dosis inhalada y diferente selección de funciones de dosis-respuesta. El mismo autor, afirma que este tipo de evaluaciones mejoraría desde enfoques más holísticos utilizando funciones de respuesta a la exposición más específicas.

Otro aspecto a tener en cuenta para futuras investigaciones, tiene que ver con que en nuestro estudio se descartó en el proceso de selección la participación de 36 ciclistas fumadores actuales, por su parte Martínez y Díaz (2013) evaluaron por medio de un Estudio ecológico la asociación epidemiológica (riesgo relativo) entre la contaminación atmosférica y el tabaquismo con la función pulmonar (evaluada mediante espirometría), en un grupo de adultos; Obteniendo que La función pulmonar está disminuida ($VEF1 < 80\%$) en los fumadores en mayor proporción que en los no fumadores, con un exceso de riesgo de 52 % (RR. 1,52 IC95 % 1,11-2,07); los autores afirman que las personas expuestas a un mayor nivel de contaminación ambiental presentan una mayor proporción de disfunción pulmonar con un exceso de riesgo de 64 % (RR. 1,64 IC95 % 1,19-2,25); y que cuando los sujetos se exponen a ambos factores, es decir fuman y además se encuentran en ambientes contaminados, el exceso de riesgo es del 129 % (RR 2,29 IC95 % 1,45-3,61). Y finalizan afirmando: “Las personas que respiran ambientes contaminados presentan disfunción pulmonar en una magnitud similar o superior a la que presentan los fumadores, es decir, podríamos afirmar que

en relación con los efectos, respirar aire contaminado equivale a estar fumando, solo que en contra de la voluntad”. Por lo anterior se requieren futuras investigaciones en poblaciones ciclistas que además de estar expuestos al contaminante del aire ambiente reúnan también características de exposición como fumar ya que la sumatoria de factores de exposición podría aumentar la relación con afecciones en la salud de los sujetos y relacionarse con la reducción de los efectos benéficos de la actividad física.

Finalmente, nuestra investigación no pretende argumentar la actividad física en bicicleta como un riesgo para la alteración en la función pulmonar. Por el contrario reconocemos y apoyamos la innumerable evidencia respecto de los beneficios de la actividad física para la salud humana. Sin embargo, consideramos que existe evidencia suficiente que indica una relación entre la contaminación del aire por PM y posibles efectos adversos para la salud de quienes se ejercitan al aire libre, esto conlleva a generar nuevas investigaciones al respecto y evaluar medidas preventivas enfocadas en el control de las concentraciones de contaminación del aire. No obstante, autores como Otero et al (2018) y Rissel et al (2018) coinciden cada uno desde su enfoque, que existe interés en gran parte del mundo por promover, políticas para mitigar el cambio climático, reducir la congestión del tráfico y promover la actividad física, desde escenarios como las ciclo rutas, sin embargo, los datos actuales de esta investigación nos permiten afirmar, que mientras ese cambio en los sistemas de transporte se hace efectivo, en este periodo de transición existe la posibilidad de que quien se ejercita al aire libre este respirando un aire contaminado, que puede desencadenar afecciones de salud. De cualquier modo estos análisis deben ser profundizados en su estudio, y considerados a la hora de diseñar y promover estos espacios.

12. conclusiones.

En Bogotá, miles de personas hacen ejercicio al aire libre haciendo uso de la bicicleta en las ciclorutas de la ciudad. La promoción de este modo de transporte busca aprovechar los beneficios para la salud que conlleva la práctica de actividad física, Sin embargo, la mala calidad del aire ambiente especialmente en algunos sectores de la ciudad y en algunas franjas horarias de alto flujo de ciclistas, se puede relacionar con la alteración de la función pulmonar para las personas que practican ejercicio al aire libre. Durante el ejercicio, hay un aumento del volumen minuto, y un cambio del mecanismo de respiración nasal por oral lo que conlleva a que las partículas inhaladas durante el ejercicio al aire libre puedan depositarse en el revestimiento del tracto respiratorio lo cual podría causar problemas de salud respiratoria. El presente estudio mostró que en un grupo de ciclistas no fumadores, en la localidad Kennedy en Bogotá, la práctica del ejercicio al aire libre a una mayor concentración de PM presento 18 casos (16.7%) en los que se observa una alteración de la función pulmonar traducida en un patrón espirómetrotrico diferente al normal. Además, este estudio demuestra que respecto del uso de la bicicleta existe en la muestra recolectada, una asociación estadística entre la función pulmonar con patrón no normal y la frecuencia de uso de la ciclo ruta por 6 a7 días por semana ($p < 0.001$) y con el tiempo de desplazamiento ida y vuelta 30 a 60 minutos diarios ($p < 0.031$), por lo cual definir la exposición de un ciclista urbano al aire libre debe considerar las variables de uso de la bicicleta. Por otro lado, este estudio apoya la idea de un cambio en los transportes a motor por el desplazamiento en bicicleta, sin embargo, por los resultados hallados en el estudio, este periodo de transición debe incluir la prevención de enfermedades asociadas a la inhalación del aire contaminado, un mayor control sobre las fuentes de emisión de contaminantes y un mejor diseño de sus ciclorutas. Finalmente, se concluye que esta investigación como primer reporte de la salud respiratoria de los ciclistas urbanos en Bogotá debe ser inicio de

investigaciones de mayor nivel de evidencia y debe ser tenida en cuenta para planes de promoción del uso de la bicicleta.

13. Recomendaciones.

La experiencia en el contacto con la población, y el proceso investigativo llevado a cabo nos permite realizar las siguientes sugerencias:

- Se requiere, un análisis multifactorial y multidisciplinario a la hora de diseñar infraestructura como la ciclorutas que busque estrategias de mitigación de impacto ambiental, para incentivar la actividad física de las poblaciones teniendo en cuenta la variable aire ambiente por la evidencia al respecto de su influencia en la salud humana.
- Se sugiere que continúe avanzando a medios de transporte no motorizado o con fuentes de energía que no contamine el aire que se respira.
- La bicicleta como estrategia para incentivar la actividad física y reducir la contaminación del aire es importantísima, sin embargo, mientras se genera la transición a un mayor número de bicicletas que de vehículos a motor, este estudio puede sugerir investigar acerca del uso de barreras físicas de protección fundamentalmente biológicas, como las mascarillas, de las cuales se deberá evaluar el filtro acorde para impedir que los contaminantes del aire entren en contacto con las personas.
- Este estudio sugiere que se promueva iniciativas educativas en los ciclistas respecto al uso de medidas de protección para la salud respiratoria, las franjas de mayor peligro y las

franjas horarias más acordes para esta práctica por medio del Uso de dispositivos que informen el nivel de contaminación en tiempo real.

- Este estudio sugiere que la organización territorial de las grandes ciudades separe las zonas industriales de las zonas residenciales para disminuir el aporte de contaminantes al aire.

14. Limitaciones

Finalmente, esta investigación reconoce la limitación en cuanto a poder comparar los datos de la población con otra población de similares características, otra franja horaria, u otro lugar, entendiendo que la experiencia adquirida en el presente estudio deja nuevas hipótesis de investigación. Además, se reconoce la dificultad para captar la atención de los bici usuarios, y lograr su colaboración con los proceso investigativos Y da valor al hecho que este diagnóstico de la salud respiratoria de los sujetos abre nuevas preguntas de profundización en el tema, y nuevos espacios del que hacer del fisioterapeuta y magister en deporte y actividad física.

Agradecimientos

En primer lugar, se agradece a la secretaria distrital de ambiente por permitir el uso de los datos de la estación de monitoreo con fines académicos; en segundo lugar, al coliseo “Cayetano cañizares” en cabeza de su coordinador quienes facilitaron la logística de la investigación sin interés alguno más allá del apoyo investigativo; y en tercer lugar al departamento del movimiento corporal humano de la Universidad Nacional de Colombia, por prestar sus equipos para el desarrollo del estudio.

Conflicto De Intereses

Se resalta que esta investigación no presenta ningún tipo de interés particular más allá de la investigación ni refiere ningún tipo de patrocinio para su realización; el investigador principal es quien se hace cargo de los gastos propios del estudio.

15. Eventos adversos.

Es importante resaltar que una vez finaliza la investigación, **no se registra ningún evento adverso** para ninguno de los participantes del estudio. Esta investigación considero el evento adverso bajo la definición dada por la el ministerio de la protección social en la resolución 4816 de 2008 como: “Daño no intencionado al paciente, operador o medio ambiente que ocurre como consecuencia de la utilización de un dispositivo médico” (capitulo. 1). Estos eventos se clasifican en evento adverso serio, y no serio; el evento adverso serio es definido como un evento que no es intencionado pero que puede provocar la muerte o deteriorar la salud del paciente como consecuencia del uso de un dispositivo médico, y el evento adverso no serio tiene que ver con un evento no intencionado producido por un dispositivo o aparato de uso médico.

16. Propiedad intelectual.

Según el acuerdo 035 de 2003 del acta No. 8 del 3 de diciembre del 2003, por el cual se expide el reglamento sobre propiedad intelectual en la Universidad Nacional de Colombia, el proyecto de investigación “MATERIAL PARTICULADO EN EL AIRE Y SU CORRELACIÓN CON LA FUNCIÓN PULMONAR EN PERSONAS QUE REALIZAN ACTIVIDAD FÍSICA EN LA CICLORUTA EN LA LOCALIDAD KENNEDY EN BOGOTÁ: ESTUDIO DESCRIPTIVO

TRANSVERSAL” al hacer parte de una actividad de carácter académico de creación intelectual, se acoge a lo descrito en este acuerdo.

En este documento, en el artículo 16, se establecen los momentos en los cuales la Universidad Nacional de Colombia es titular de los derechos patrimoniales de las obras científicas y literarias, en el numeral *c* se estipula que las investigaciones creadas por los estudiantes cuando forman parte de sus compromisos académicos con la Institución, como sucede en éste caso, ya que el presente se realizó en la modalidad de trabajo de grado para optar por el título de magister en fisioterapia del deporte y la actividad física; adicionalmente en el numeral *d* y *e*, se especifica que así las investigaciones se realicen gracias a convenios con otras instituciones, préstamo de escenarios como el parque Cayetano cañizares o toma de datos de contaminación otorgados por secretaria de ambiente, o utilizando el recurso de la Universidad como lo fue el espirómetro perteneciente al laboratorio del movimiento corporal humano de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, los derechos de autor igualmente le pertenecen a la Universidad Nacional de Colombia.

También es importante rescatar el artículo 17, donde se acuerda los derechos patrimoniales, de esta manera: “la Universidad Nacional de Colombia podrá ejercer las facultades exclusivas otorgadas por la titularidad, así, reproducirá y difundirá por cualquier medio conocido o por conocer las obras y creaciones resultado de su actividad académica que considere útiles y de importancia para **el beneficio social Colombiano**”; así mismo se pone en manifiesto los derechos de los autores, en el artículo 18, en donde según la resolución “los autores tienen derecho moral perpetuo, inalienable e irrenunciable a: a) que su nombre o seudónimo y el título de la obra se mencionen en toda utilización que se haga de la misma; b) Oponerse a cualquier modificación,

mutilación o deformación de su obra; y a c) Modificar la obra antes o después de su publicación, o a retirarla de circulación previa indemnización de perjuicios ocasionado”.

Por último en el artículo 19 se estipula que la Universidad Nacional de Colombia puede: a) reproducir las obras o autorizar su reproducción, b) efectuar o autorizar la realización de traducciones, adaptaciones, arreglos o transformaciones de las obras, respetando los derechos morales de los autores, y c) comunicar o autorizar la comunicación de las obras al público por cualquier medio conocido o por conocer.

Referencias.

Alfaro M (2004). Efectos biológicos inducidos por aeropartículas de la ciudad de México. Tesis para obtener el grado de doctor en ciencias biomédicas. Universidad nacional autónoma de México. Recuperado de: www.researchgate.net/publication/236361005.

Astudillo A., Ramírez O., García Alvear., González A., Gutiérrez V. y Bailón M. (2015). Caracterización química del material particulado PM10 de la zona urbana de Cuenca- Ecuador e investigación de su genotoxicidad e inducción de estrés oxidativo en células epiteliales alveolares A549. *Revista de Toxicología*. 32: 121-126. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/289526945>

Bai Y, Hannelore B, Tim S. y Benoit Nemery (2018) Carbon load in airway macrophages as a biomarker of exposure to particulate air pollution; a longitudinal study of an international Panel. *Particle and Fibre Toxicology* 15:14 <https://doi.org/10.1186/s12989-018-0250-8>

Badyda A., Gayer A., Czechowski P., Majewski G., y Dałbrowiecki P. (2016) Pulmonary Function and Incidence of Selected Respiratory Diseases Depending on the Exposure to Ambient PM10. *International journals of molecular sciences*. Doi: 10.3390/ijms17111954

Berglund, Elinder y Järup (2001): Human Exposure Assessment. An introduction. World Health Organization WHO/SDE/OEH/01.3

Behrentz E., Espinosa M. y Franco J. (2008). Fundamentos de contaminación del aire. Conceptos generales, definiciones y política ambiental. Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional. Universidad de los andes, Bogotá Colombia.

Betancur (2016). Evaluación de la citotoxicidad y genotoxicidad del material químico en filtros PM2.5 de las estaciones de monitoreo de la red de calidad del aire del Valle de Aburrá. Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de: Magíster en Medio Ambiente y Desarrollo. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

Bowatte G., Lodge C., Knibbs L., Erbas J., Perret B., Morgan G., Bui D., Giles G., Hamilton G., Wood R. Thompson T., Matheson M., Abramson M., Walters E. y Dharmage S.(2018). Traffic related air pollution and development and persistence of asthma and low lung function. *Enviroment International*. Volumn 113. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.01.028>

Carlisle, A. J. y Sharp, N.C. (2002) Exercise and outdoor ambient air pollution. *Review Br J Sports Med* 2001; **35:214–222**.

Campbell, M. E., Li, Q., Gingrich, S.E., Macfarlane, R.G y Cheng, R. (2005) Should People Be Physically Active Outdoors on Smog Alert Days? *Revue canadienne de santé publique*. Volumen 96, no. 1.

Chandrasekharan K., Riut K., Vipin B., Pathak K., y Singh A. (2015). Particulate matter in ambient air and its association with alterations in lung functions and respiratory health problems among

outdoor exercisers in National Capital Region, India. *Atmospheric Pollution Research*. Volumen 6. 618 – 625. Doi: 10.5094/APR.2015.070

Cadernos De Atención Primaria A Publicación Dos Profesionais De Atención Primaria En Galicia. (2015). Las 4 reglas de la espirometria. ASOCIACIÓN GALEGA DE MEDICINA FAMILIAR E MONUNITARIA. Editorial Pax. Editores Francisco Javier Maestro Saavedra Ana Paula Núñez Gavino 2015 Vol. 21 N° 4 recuperado de https://revista.agamfec.com/wp-content/uploads/2016/05/Cadernos21_Vol-4- OK.pdf

Elkin Martínez-López y Paula A. Díaz-Valencia (2015) Respirar aire contaminado es tan nocivo como fumar cigarrillo. *Revista de salud pública*. Volumen 17 DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/rsap.v17n3.38428>

Estévez, J. A., Rojas N. R., y Rodríguez A, I. (2013) Occupational exposure to air pollutants: particulate matter and respiratory symptoms affecting traffic-police in Bogotá. *Rev. Salud pública*. Volumen 15 (6): 889-902.

Falcon R., Osornio V., Sada O. y Segura M. (2016). Aeroparticles, Composition, and Lung Diseases. *Frontiers in Immunology*, volumen 7; 3. Doi: 10.3389/fimmu.2016.00003

Fajardo O. y Rojas N. (2012). Particulate matter exposure of bicycle path users in a high-altitude city. *Atmospheric Environment Volume 46*, January 2012, Pág. 675–679.

Franco J., Segura J y Mura I. (2016) Air Pollution a long side Bike-Paths in Bogotá-Colombia; rev salud publica original research published: 25 November 2016 doi: 10.3389/fenvs.2016.00077.

Giles, L.V., Koehle, M.S., (2014). The health effects of exercising in air pollution. *Sports Medicine* 44, 223–249.

Giles L. y Kohele M. (2014); The Health Effects of Exercising in Air Pollution. Division of Sports Medicine, University of British Columbia. *Sports Med* DOI 10.1007/s40279-013-0108-z.

Guyton A. y Hall J. (2011) Tratado de fisiología médica. Madrid, España. Editorial s.a. elsevier. 12ª edición.

Hilario, Núñez y Paniagua. (2015). *Estudio de factibilidad de la movilidad urbana sustentable en Metepec, estado de México*. (Tesis de pregrado). Universidad autónoma del estado de México, Toluca, México.

Herrmann A, Mingming L, Pilla F, y Shorten R. (2017) A New Take on Protecting Cyclists in Smart Cities. *Journal Global Health Action*

Informe anual de calidad del aire de Bogotá (2016). Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB). Secretaría Distrital de Ambiente Dirección de Control Ambiental, Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C– RMCAB Bogotá D.C 2017.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2016) *Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2011-2015*. ISBN: 978-958-8067-84-1. Bogotá, D.C., Colombia 2016. Recuperado de:
http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023637/Informe_del_Estado_de_la_Calidad_del_Aire_en_Colombia_2011-2015_vfinal.

Ingle S. T., Pachpande, B.G., Wagh, N.D., Patel V. J., y Attarde, S. B., (2005) Exposure to vehicular pollution and respiratory impairment of traffic policemen in jalgaon city, india. *School of environmental and earth sciences*, north maharashtra university, jalgaon 425 00. 43, 656–662.

Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial (2004) *GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE Causas, Efectos y Soluciones*. Raymundo Carranza Noriega Director Ghis Jaa / Consultor En Medio Ambiente. 1ra. Edición, Lima Perú.

Jiménez H. (2011). Efectos de la contaminación atmosférica por pm10 sobre las consultas a urgencias por enfermedades respiratorias en menores de 15 años y mayores de 60 años y mortalidad general en Cali, durante 2010 y 2011. Trabajo de grado como requisito parcial para optar al título de magíster en epidemiología. Universidad del valle Santiago de Cali

Ji J., Upadhyay S., Xiong X., Malmlö M., Sandström T., Gerde P., y Palmberg L. (2018). Multi-cellular human bronchial models exposed to diesel exhaust particles: assessment of

inflammation, oxidative stress and macrophage polarization. *Particle and Fibre Toxicology* (2018) 15:19 <https://doi.org/10.1186/s12989-018-0256-2>

Korrick, S. A., Neas, L. M., Douglas, Gold, D.R., Allen, G. L., Hill, B., Kimball, K.D., Rosner, B. A., y Speizer, F.E. (1999) Effects of Ozone and Other Pollutants on the Pulmonary Function of Adult Hikers. *Environmental Health Perspectives* Volume 106, Number 2.

La secretaria distrital de ambiente y el secretario distrital de salud. (2015). *Resolución conjunta 2410*. Publicada en el Registro Distrital 5737 de diciembre 18 de 2015. Recuperada de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=64167>

Larsen B. (2004). Cost of environmental damage: a socio-economic and environmental health risk assessment, final report colombia. *Ministry of environment, housing and land development republic of Colombia* July 2004

Ljubimova Julia Y. Ljubimova¹, Oliver Braubach ¹, Rameshwar Patil¹, Antonella Chiechi¹, Jie Tang ², Anna Galstyan¹, Ekaterina S. Shatalova¹, Michael T. Kleinman³, Keith L. Black¹ & Eggehard Holler^{1,4} et al (2018) *SciEntific REPOrTS* | (2018) 8:5708 | DOI:10.1038/s41598-018-23885-3 Coarse particulate matter (PM_{2.5-10}) in Los Angeles Basin air induces expression of inflammation and cancer biomarkers in rat brains

Liati A., Schreiber D., Arroyo Y., Rojas D., y Panayotis D. (2018) Ultrafine particle emissions from modern Gasoline and Diesel vehicles: An electron microscopic perspective environmental pollution. Volumen 239. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.081>

Medina R., Zanobetti A., Y Schwartz J. (2006). The Effect of Ozone and PM10 on Hospital Admissions for Pneumonia and Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A National Multicity Study. *American Journal of Epidemiology*. Vol. 163, No. 6. DOI: 10.1093/aje/kwj078

Matt F., Hunter T., Donaire D., Kubesch N., Martínez D., Carrasco G. y Nieuwenhuijsen M. (2016). Acute respiratory response to traffic-related air pollution during physical activity performance. *Environment International* volumen 97:45–55. El sevier Ltd.

Miller M, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A, Crapo R, Enright P, Van der Grinten, Gustafsson P, Jensen R, Johnson R, MacIntyre N, McKay R, Navajas D, Pedersen O, Pellegrino R, Viegi G y Wanger J. (2005) Standardisation of spirometry, *European Respiratory Journal*.; volumen 26: 319–338 DOI: 10.1183/09031936.05.00034805.

Matt f., Hunter T., Gonzalez D., Kubesch N., Martínez D., Carrasco G., & Mark Nieuwenhuijsen., (2016) Acute respiratory response to traffic-related air pollution during physical activity performance. *Environment International* 97 (2016) 45–55.

Nanclares D (2016). Evaluación de las bacterias aisladas de material particulado PM2.5 captado en tres estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire del Área Metropolitana Valle de Aburrá. Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de: Magíster en Medio Ambiente y Desarrollo. Línea de Investigación: Contaminación atmosférica. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Minas, Medellín.

Normativa para la práctica de la espirómetros forzada. Grupo de Trabajo de la SEPAR - para la práctica de la espirómetros en clínica. *Archivos de bronconeumologia*. Coordinador: J. Sanchis Aldas. Hospital Santa Creu i Sant Pau. Barcelona. Recuperado de: <http://www.archbronconeumol.org/es/normativa-practica-espirometria-forzada/articulo/S0300289615317282/>

Niinimaa V, Cole P, y Mintz S, (1980) The switching point from nasal to oronasal breathing. *Respir Physiology*. Volumen 42(1):61–71.

OMS (2006). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre; Resumen de evaluación de los riesgos. Actualización 2005, Organización Mundial de la Salud. Ediciones de la OMS recuperado de: http://www.who.int/publications/list/who_sde_phe_oe_h_06_02/es/

OMS (2004). Guidelines for Air Quality, OMS, 2000. Traducción realizada por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS), agencia especializada de la Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS). Lima, 2004.

Ordúz C., Toro M., y Gómez J. (2013). Epoc, Bronquitis Crónica Y Síntomas Respiratorios, Asociados A La Contaminación Por Pm10 En La Ciudad De Medellín (Colombia). Estudio transversal. *Revista salud pública* Volumen 21 • No. 1 - 21 (1): 21-28.

Oyarzún M. (2008). Air pollution an its effects on health. Artículo basado en una conferencia pronunciada en el 1er Congreso de Atención Primaria en Salud: “Mejorando la red asistencial con un enfoque multidisciplinario”. Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Católica del Maule. Talca. *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias*; volumen 26.

Ovrevik J., Refsnes M., Låg M., Holme J y Schwarze P. (2015). Activation of Proinflammatory Responses in Cells of the Airway Mucosa by Particulate Matter: Oxidant- and Non-Oxidant-Mediated Triggering Mechanisms. *Revista Biomolecule*, volumen 5, 1399-1440; [doi:10.3390/biom5031399](https://doi.org/10.3390/biom5031399)

Patiño R., Celis R. y Díaz C., (2005) *Gases Sanguíneos, Fisiología de la respiración e Insuficiencia respiratoria aguda*. Editorial medica panamericana. Séptima edición

Panis L., Geus B., Vandenbulcke G., Willems H., Degraeuwe B., Bleux N., Mishra V., Thomas I., (2010). Romain Meeusen Exposure to particulate matter in traffic: A comparison of cyclists and car passengers. *Atmospheric Environment* 44 (2010) 2263- 2270.

Panis L., Provost E., Cox B., Louwies T., Laeremans M., Standaert A., Dons E., Holmstock L., Nawrot T. and Boever P. (2017), Short-term air pollution exposure decreases lung function: a repeated measures study in healthy adults. *Environmental Health* DOI 10.1186/s12940-017-0271-z.

Razaa W, Forsberga B, Johanssonb C, y Nilsson S (2018), Air pollution as a risk factor in health impact assessments of a travel mode shift towards cycling. *Global Health Action*. DOI: 10.1080/16549716.2018.1429081

Rice M., Ljungman P., Wilker E., Dorans K., Gold D., Schwartz J., Koutrak P., Washko G., O'Connor G., y Mittleman M. (2015) Long-Term Exposure to Traffic Emissions and Fine Particulate Matter and Lung Function Decline in the Framingham Heart Study. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* Volume 191.

Rundell, K. W. y Caviston, R. (2008), Ultrafine And Fine Particulate Matter Inhalation Decreases Exercise Performance In Healthy Subjects. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 1533-4287/22(1)/2-5 Volume 22 Number 1.

Ramos M., Vasconcelos A., y Faria M. (2015). Comparison of particulate matter inhalation for users of different transport modes in Lisbon. *Transportation Research Procedia*. Volumen 10 (2015) 433 – 442. Doi: 10.1016/j.trpro.2015.09.093

Rodríguez M, y Dennis R, (2010) Valores de referencia para parámetros de espirometría en la población adulta residente en Bogotá, Colombia. Departamento de Epidemiología Clínica y Bioestadística, Facultad de Medicina, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, D.C., Colombia. *Rev. Biomédica*; 30:82-94

Secretaría distrital de movilidad. (2016). *Informe final tomo VI, Modelo De Asignación De Transporte No Motorizado Bicicleta, Versión 3*. Contrato de consultoría numero: sdm-2014-1485 secretaria de movilidad. Recuperado de http://www.simur.gov.co/biblioteca_digital/documents/165.

Secretaría Distrital de Ambiente (2013). Informe Sectorial, Indicadores de Gestión de la Administración Distrital Acuerdo 067 de 2002, Bogotá, D.C., Enero de 2013.

Sichletidis L., Spyratos D., Tsiotsios A., Haidich A., Chloros D., Ganidis I., Michailidis D., Triantafyllou G., Kottakis G. y Melas D. (2014). Exposure to PM10 as a risk factor for the development of nasal obstruction and chronic obstructive pulmonary disease. *International Journal of Occupational and Environmental Health*. Volumen 20 Numero 1. DOI: 10.1179/2049396713Y.0000000047.

Thibodeau G. y Patton K. (1998). *Estructura y Función del cuerpo humano*. Madrid, España: editorial EL server; 10ª ed.

Tainio M., Audrey J., Götschi T, Kahlmeier S, Rojas R., Mark J. Nieuwenhuijsen T., Kelly h., y Woodcock J. (2016); Can air pollution negate the health benefits of cycling and walking? (2016) *Preventive Medicine* 87 233–236.

Wagner N, Clark W y Dale D (2018) Efectos de la materia particulada ambiente sobre el rendimiento del ejercicio aeróbico. Rev. Exercise science y fitness. Volumen 16 , 1 <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2018.01.002>

Watterson B, Randy H, Roger A, y Coulombe Jr (2012) Urban particulate matter activates Akt in human lung cells. Archivos de Toxicología Enero de 2012, Volumen 86, Número 1 , páginas 121-135

Weichenthal, S., kulka, R., Dubeau, A., Martin, C., Wang, D. Y Dale, R. (2011) Traffic-Related Air Pollution and Acute Changes in Heart Rate Variability and Respiratory Function in Urban Cyclists. *Environmental Health Perspectives* • volume 119 number 10

World Health Organisation. (2005). Air quality guidelines global update, Geneva; recuperado de: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.

Yang B. y Xiao C. (2018) PM2.5 exposure significantly improves the exacerbation of A549 tumor-bearing CB17-SCID mice Environmental Toxicology and Pharmacology Volume 60. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2018.04.025>

Bibliografía

Forbes L, Kapetanakis V, Rudnicka A, Cook D, Bush T, y Stedman JR (2009). Chronic exposure to outdoor air pollution and lung function in adults. *Thorax* (2009) 64:657–63. doi:10.1136/thx.2008.109389

Ning Y.Y., Imrich A., Goldsmith C.A., Qin G., Kobzik L (2000). Alveolar macrophage cytokine production in response to air particles in vitro: Role of endotoxin; Article in Journal of Toxicology and Environmental Health Part A 59(3):165-80 · February 2000, DOI: 10.1080/009841000156952 · Source: PubMed

Borja V, Loomis D, Shrikant I Shy CM, Rascon PR (1997); Ozone, Suspended Particulates, and Daily Mortality in Mexico City, Article in American Journal of Epidemiology 145(3):258-68 · March 1997, DOI: 10.1093/oxfordjournals.aje.a009099 Source: PubMed.

Romieu I, Meneses F, Ruiz S, Sierra J, Huerta J, White M, & Etzhel R. (1996) Effects of air pollution on the respiratory health of asthmatic children living in Mexico City; Article in American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine 154(2 Pt 1):300-7 · September 1996 DOI: 10.1164/ajrccm.154.2.8756798 · Source: PubMed.

Gurjar B, molina L, Ojha C, (2010); Air Pollution; Ealth And Environmental Impacts; Editorial CRC Press Taylor & Francis Group. International Standard Book Number-13: 978-1-4398-0963-

Alfaro M, García C, De-Vizcaya A, Rojas L, & Osornio A; (2010) Cellular Mechanisms behind Particulate Matter Air Pollution Related Health Effects; In book: Air Pollution. Health and Environmental Impacts, Chapter: The Cellular Mechanisms behind Particulate Matter Air Pollution Related Health Effects, Publisher: CRC Press, Editors: Gurjar BR, Molina LT, Ojha CSP, pp.249-276: DOI: 10.1201/EBK1439809624-c9

ANEXOS



ANEXO 1. Consentimiento Informado

FORMULARIO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Este formulario de consentimiento informado se dirige a hombres y mujeres, mayores de edad activos como usuarios cotidianos de la ciclo ruta, a quienes se invita a participar de este estudio.

Ciudad _____ Yo _____, mayor de edad e identificado con C.C. _____ de _____, actuando en nombre propio o como representante legal de _____ **HAGO CONSTAR** Que he sido informado hoy _____ por el investigador Sergio Leonardo Cortes González Fisioterapeuta de la Maestría de fisioterapia de la actividad Física y el deporte de la Universidad Nacional de Colombia, acerca de mi participación en la realización de la investigación *“Material Particulado en el Aire Ambiente y su Correlación con la Función Pulmonar en Personas que realizan Actividad Física al Aire Libre Usando Bicicleta en la Localidad Kennedy en Bogotá”* Se me permite preguntar y aclarar las dudas generadas sobre la atención y mi participación.

Se me ha informado, que debido a la naturaleza del estudio no estoy expuesto a riesgos o eventos adversos que afecten mi salud y que mis datos, fotografías, grabaciones de video o auditivas serán manejados de forma segura y con absoluta confidencialidad y los resultados obtenidos se mantendrán con la más estrecha garantía de confidencialidad y se dedicaran al estudio de los parámetros establecidos para esta investigación, entendiendo que **no recibiré ningún pago monetario o ningún otro trato especial a cambio del derecho de utilizar este material**. Sin embargo puedo estar sujeto a deserción del estudio debido a la características de la prueba a aplicar (Espirometría) o por la longitud o extensión del cuestionario y tiempo requerido para el mismo, también he sido informado sobre mi derecho a rechazar mi participación en el proceso evaluativo o a revocar este consentimiento y sobre las consecuencias posibles de esta determinación. Podre presentar mis quejas o inquietudes ante el investigador principal, Sergio Leonardo Cortes González (slcortesg@unal.edu.co)

Por lo anterior, **doy mi consentimiento** de participar en esta investigación, para que se realice la prueba de función pulmonar por medio de Espirometría y el cuestionario sobre actividad física, antecedentes respiratorios y ocupacionales relacionados con el estudio, así como para obtener demás información de mi historia clínica.

Firma del paciente o representante legal

Firma del investigador

Firmado en _____ a los ____ días del mes _____ año _____.

ANEXO 2. Encuesta de selección de los participantes

Investigación: Material particulado en el aire ambiente y su correlación con la función pulmonar en personas que realizan actividad física al aire libre usando bicicleta en la localidad Kennedy en Bogotá

Nombre del participante de la investigación:			
Tipo de documento:	CC. ____ CE. ____ TI. ____	Número del documento:	
Ocupación:	Edad:	fecha: (d/m/a)	hora militar:

A continuación usted encontrará información pertinente para su aceptación en la participación de la presente investigación, se solicita diligenciar la información con la mayor exactitud posible. Marque con una **X** la opción según corresponda

Categoría 1 Antecedentes clínicos

Pregunta	Si	No
➤ ¿Usted ha sido diagnosticado por un médico con Asma alguna vez en su vida?	Si	No
➤ ¿Usted ha sido diagnosticado por un médico con bronquitis con alguna vez en su vida?	Si	No
➤ ¿Usted ha sido diagnosticado por un médico con Enfisema pulmonar con alguna vez en su vida?	Si	No
➤ ¿usted ha sido diagnosticado por un médico con Tuberculosis pulmonar alguna vez en su vida	Si	No
➤ ¿Usted ha sido diagnosticado por un médico con algún problema cardio respiratorio?	Si	No
Si su respuesta es sí escriba ¿cuál fue el diagnostico?: _____		
➤ ¿Actualmente presenta síntomas asociados con algún tipo de enfermedad o lesión física?	Si	No
Si su respuesta es sí escriba ¿cuál es su síntoma?: _____		
➤ ¿Usted tiene antecedentes de cirugía en el tórax?	Si	No
¿Usted actualmente fuma cigarrillo, ha fumado en los últimos seis meses o ha fumado más de 50 cigarrillos en toda su vida?	Si	No
➤ ¿En su ocupación actual se ve expuesto a contaminantes y/o tóxicos como pinturas, aerosoles, aserrín de madera, polvo, u otras? ¿Cuales? _____	Si	No

Categoría 2 Frecuencia de uso de las Ciclo Rutas

Seleccione únicamente una de las opciones de respuesta de las siguientes preguntas

Pregunta	Categorías de Respuesta		
➤ ¿Desde hace cuánto tiempo se desplaza periódicamente en la ciclo ruta, mediante el uso de la bicicleta?	Menor o igual a 1 mes	Entre 2 y 5 meses	Más de 5 meses
➤ ¿Con que frecuencia semanal practica usted actividad física, mediante el uso de la bicicleta en la ciclo ruta?	1 a 3 días	4 a 5 días	6 a 7 días
➤ ¿Cuánto tiempo emplea usted en el desplazamiento diario en bicicleta en la ciclo ruta (incluya los recorridos de llegada y salida del punto inicial)?	Entre 15 y 30 minutos	Entre 31 y 90 minutos	Más de 90 minutos
➤ ¿Cuál es la franja horaria en la que usted hace mayor uso de la bicicleta en la ciclo ruta?	Antes de las 4 am y después de las 10 pm	Entre las 5 y 9 am y/o entre las 3 y 8 pm	Entre las 10 am y 2 pm

Categoría 3 Percepción de la calidad del aire

Responda estas preguntas teniendo en cuenta que estos síntomas NO se encuentren relacionados con resfriados presentes o cuadros gripales

Pregunta	Categorías de Respuesta		
➤ Ha sentido usted falta de aire o dificultad para la respirar mientras se desplaza en bicicleta por la ciclo ruta, que lo obliga a detenerse.	Nunca	Algunas veces	Siempre
➤ Ha sentido usted falta de aire o dificultad para la respirar mientras realiza actividades cotidianas, que lo obliga a detener la ejecución de la actividad.	Nunca	Algunas veces	Siempre
➤ Ha sentido usted sensación de tos continua cuando se desplaza en bicicleta en la ciclo ruta	Nunca	Algunas veces	Siempre
➤ Ha presentado una aumentada cantidad de mucosidad o flema cuando se desplaza en bicicleta en la ciclo ruta	Nunca	Algunas veces	Siempre
➤ Ha presentado expulsión de mucosidad o flema de color oscuro o amarillento al toser cuando se desplaza en bicicleta en la ciclo ruta	Nunca	Algunas veces	Siempre
➤ Ha presentado o presenta dolor en la garganta cuando se desplaza en bicicleta en la ciclo ruta.	Nunca	Algunas veces	Siempre
➤ Ha percibido aumento del resfriado nasal mientras se desplaza en bicicleta en la ciclo ruta.	Nunca	Algunas veces	Siempre
➤ Ha sentido o siente usted la necesidad de utilizar un tapa bocas cuando se desplaza en bicicleta en la ciclo ruta	Nunca	Algunas veces	Siempre

Recolección de datos ANEXO 3.

Investigación: *Material particulado en el aire ambiente y su correlación con la función pulmonar en personas que realizan actividad física al aire libre usando bicicleta en la localidad Kennedy en Bogotá*

Nombre del participante de la investigación:			
Tipo de documento: CC. ____ CE. ____ TI. ____	Número del documento:		
Ocupación:	Edad:	fecha: (d/m/a) militar:	hora

A continuación se diligenciarán los datos de las variables espirométricas hallados en la Espirometría en la evaluación de la función pulmonar.

Resultado Espirometría

Variable	Toma 1	Toma2	Toma 3	Mejor resultado
VEF				
CVF				
VEF/CV				
EF 25/65				

A continuación se diligenciarán los datos de las variables reportadas por la red de calidad del aire en el momento de la toma de la Espirometría correspondientes a material particulado:

Material particulado

Hora	PM10	PM2.5	Vel Viento	Dir Viento	Temperatura	Precipitación	Presión Baro	Humedad
	µg/m3	µg/m3	m/s	Grados	C°	mm	mmHg	%

