

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**FACULTAD DE MEDICINA**



**EFFECTOS DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA  
FUNCION PULMONAR DE ESCOLARES DE MEXICALI, BAJA  
CALIFORNIA, MEXICO**

**T E S I S**

**Que presenta para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS DE  
LA SALUD**

**JUAN VALENTE MÉRIDA PALACIO**

**DIRECTOR DE TESIS:  
DR. MARCO ANTONIO REYNA CARRANZA**

**CO-DIRECTORA DE TESIS:  
M. en C. CARMEN GORETY SORIA**

**Mexicali, Baja California**

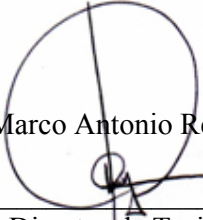
**Noviembre del 2009**





**HOJA DE FIRMAS**

Dr. Marco Antonio Reyna Carranza



---

Director de Tesis

M en C Carmen Gorety Soria Rodriguez

---

Dr. Héctor Gerardo Arriola Zorrilla

---

M en C Roberto Prince Vélez

---

Dra. Blanca Estela del Rio Navarro

---



## **AGRADECIMIENTOS**

## INDICE

	<b>página</b>
CONTRAPORTADA	i
HOJA DE FIRMAS	iii
AGRADECIMIENTOS	v
INDICE	vi
1. INTRODUCCION	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
3. ANTECEDENTES	4
4. JUSTIFICACION	32
5. HIPOTESIS	33
6. OBJETIVOS	34
6.1. Objetivo general	
6.2. Objetivo específico	
7. MATERIAL Y METODOS	35
7.1. Diseño	
7.2. Población muestra	
7.3. Criterios de inclusión	
7.4. Criterios de exclusión	
7.5. Criterios de eliminación	
7.6. Variables	
7.6.1. Variables dependientes	
7.6.2. variables independientes	
7.7. Análisis estadístico	
7.7.1. Hipótesis	
7.7.2. Hipótesis alterna	
7.7.3. Aspectos éticos	
8. RESULTADOS	37
9. DISCUSION	41
10. CONCLUSIONES	50
11. BIBLIOGRAFIA	68
12. ANEXOS	74
12.1. Índice de tablas y figuras	
12.2. Carta de consentimiento informado	
12.3. Cuestionario epidemiológico	

## RESUMEN

### Antecedentes

Según el Instituto Nacional de Ecología, Mexicali Baja California, ocupa el primer lugar en contaminación por  $PM_{10}$  con un pico en su concentración durante los meses de frío, y un séptimo lugar en lo referente al  $O_3$  con concentraciones atmosféricas mayores durante los meses de calor. Ambos contaminantes se han asociado con disminución en la función pulmonar en las poblaciones expuestas.

### Objetivo

Determinar si las concentraciones de  $PM_{10}$  y  $O_3$  afectan la función pulmonar en escolares sanos de 9 a 12 años de edad residentes de zona urbana, durante las épocas de mayor y menor concentración de ambos contaminantes atmosféricos.

### Material y Método

Se efectuó un estudio transversal entre los periodos de frío y de calor en escolares sanos de 9 a 12 años de edad residentes en zona urbana; la muestra fue de 300 escolares y fue obtenida en forma aleatoria de escuelas primarias del sistema gubernamental de educación. Se aplicó un cuestionario epidemiológico a cada individuo para seleccionar la muestra, se les efectuó la medición de espirometría (volumen espiratorio forzado en 1 segundo o  $VEF_1$ , y capacidad vital forzada o CVF) en cada época del año. La fecha y hora fue registrada en el momento mismo de realizar las pruebas. Se aplicó un estudio de regresión lineal multivariado (multicontaminante) para encontrar la correlación de causalidad entre promedios móviles de los contaminantes (i.e.,  $PM_{10}$  y  $O_3$ ) y sus efectos en la disminución del  $VEF_1$  y CVF.

### Resultados

La muestra estudiada fue de 258 escolares, de los cuales 138 fueron del sexo femenino (53.5%), y 120 del sexo masculino (46.5%). Con relación a la edad, 37 (14.34%) tenían 9 años, 104 (40.31%) 10 años, 110 (42.61%) 11 años, y 7 (2.71%) al momento de iniciado el estudio. El 94.96% habita en viviendas de material de ladrillo y bloque de concreto, el 98.84% utilizan el gas butano como combustible doméstico, el 90.70% poseen aire acondicionado, el 64% no tiene sistema de calefacción, el 21,71% utilizan calefactores eléctricos. El 96.51% no está expuesto al humo del tabaco en su hogar.

En el muestreo de invierno el efecto encontrado en  $VEF_1$  por  $PM_{10}$  fue significativo ( $t = -11.012$ ;  $p < 0.0001$ ), al igual que por efecto de  $O_3$  ( $t = -2.315$ ;  $p = 0.0214$ ). Siendo lo mismo para la CVF,  $PM_{10}$  ( $t = -11.008$ ;  $p < 0.0001$ ) y  $O_3$  ( $t = -2.175$ ;  $p = 0.0306$ ). En el muestreo de verano el efecto sobre el  $VEF_1$  por el  $O_3$  fue significativo ( $t = -2.082$ ;  $p = 0.0384$ ), al igual que por el efecto del  $PM_{10}$  ( $t = -2.298$ ;  $p = 0.0224$ ); El efecto del  $O_3$  sobre el CVF fue significativo ( $t = -1.971$ ;  $p = 0.0498$ ) sin embargo el efecto de las  $PM_{10}$  en esta variable fue débilmente significativo ( $t = -1.939$ ;  $p = 0.0536$ ).

### Conclusiones

La CVF como el  $VEF_1$  se vieron disminuidos en las temporadas de invierno y verano por la exposición a  $PM_{10}$  y  $O_3$ ; El  $O_3$  causó mayor disminución del  $VEF_1$  y CVF durante la muestra de verano, y el  $PM_{10}$  durante la muestra de invierno. El CVF disminuyó más en ambas muestras por efecto de ambos contaminantes. El  $PM_{10}$  produjo una mayor disminución del CVF y  $VEF_1$  que el  $O_3$  en términos globales.

## 1. INTRODUCCION

El aire que se respira se encuentra contaminado por varios compuestos atmosféricos, que son generados tanto por procesos naturales como por diversas actividades humanas. La exposición de las personas a los contaminantes atmosféricos está asociada con un aumento de afecciones graves de la salud principalmente respiratoria ej. asma, bronquitis; cardiovasculares como muerte súbita por infarto del miocardio, y se le relaciona con el desarrollo de enfermedades malignas . La diversidad de los efectos depende de factores tales como la concentración y características del contaminante, además de la susceptibilidad del individuo expuesto.

A partir de 1970 se creó en los Estados Unidos de América la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés *Environment Protection Agency*), la cual estableció la normatividad para los límites tolerables de la concentración atmosférica de los contaminantes denominados criterio ( Partículas suspendidas con diámetro aerodinámico menor a 10 micras ( $PM_{10}$ ), Ozono ( $O_3$ ), monóxido de carbono (CO), bióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), y bióxido de azufre ( $SO_2$ ) para protección de la salud humana, siendo adoptados por muchos gobiernos, quienes tienen como obligación social establecer políticas públicas para controlar y mantener dichos niveles en rangos de bajo riesgo de afectación a la salud.

En nuestro país la Secretaría de Salud ha establecido desde la década de 1990 la normatividad de dichos contaminantes criterios, siendo la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales los responsables de la sistematización, análisis y medición de los contaminantes atmosféricos a través del sistemas de monitoreo establecidos en las principales ciudades del país, en forma conjunta con las Secretarías de Medio Ambiente en los diversos estados de la federación.

La ciudad de Mexicali, Baja California, de acuerdo con el resultado de dichos monitoreos, es una de las ciudades más contaminadas del país, ocupando el primer lugar en la concentración de  $PM_{10}$  y CO, y está entre los 6 primeros lugares en el resto de los contaminantes atmosféricos.

Se han efectuado diversos estudios epidemiológicos de tipo retrospectivo con relación al impacto de la contaminación atmosférica en la salud, sin embargo no se han realizado estudios de correlación entre el nivel de concentración de un determinado contaminante

atmosférico y algún parámetro de medición funcional, como lo es la medición de la función pulmonar en población sana.

Este trabajo de tesis plantea estudiar los efectos que producen dos de los principales contaminantes atmosféricos de la localidad (*i.e.*, PM10 y O3), sobre la disminución de la función pulmonar en escolares sanos.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

¿Los niveles de Ozono y de material particulado de diámetro menor a 10 micrómetros (PM10, por sus siglas en inglés *Particulate Matter less than 10 micrometers*) presentes en el aire de Mexicali, Baja California, disminuyen el Volumen Espiratorio Forzado en 1 segundo y la Capacidad Vital Forzada en los escolares de 9 a 12 años de edad que residen y estudian en zonas urbanas? ¿Las PM10 provocan una mayor disminución en estos parámetros de la función pulmonar que el Ozono, en este grupo de escolares?

### 3. ANTECEDENTES

La interacción hombre-medio ambiente y el modelo de desarrollo a través de la historia, ha llevado a la humanidad a enfrentarse a una serie de problemas ambientales tales como la contaminación atmosférica entre otras, considerándose en la actualidad que la contaminación ambiental y la baja calidad del aire son problemas que afectan a todos los países del mundo.

Contaminación del aire se puede definir como la presencia en la atmósfera de sustancias en forma de partículas sólidas, líquidas, gases en suspensión, en concentraciones, duración y frecuencia que afectan adversamente la salud y el bienestar de los humanos. <sup>(1)</sup> Se entiende como contaminante a una sustancia la cual, entre los puntos de su emisión a la atmósfera y su remoción final, causa daño, ya sea a un ecosistema o a la salud humana. <sup>(2)</sup>

El término de “contaminación del aire” abarca una amplia gama de componentes químicos y biológicos de la atmósfera <sup>(3)</sup>, y se origina habitualmente con el desequilibrio en el proceso de emisión, y en el proceso de dispersión y eliminación, que los reduce <sup>(4)</sup>, siendo una consecuencia de las actividades cotidianas que se desarrollan ya sea de forma individual, institucional o empresarial, o de fuentes naturales, resultando de ello es la emisión de partículas contaminantes o gases que pueden afectar la salud humana o los ecosistemas. <sup>(5)</sup>

La concentración diaria de los contaminantes queda sujeta preponderantemente por la dilución y el transporte (velocidad y dirección del viento), mas que por las variaciones en las fuentes de emisión; sin embargo, la proporción de la producción y su distribución regularmente se ve afectada por las condiciones meteorológicas y la época o estación del año. El grado de exposición a la contaminación atmosférica de la población también dependerá de su proximidad a las fuentes emisoras de contaminantes tanto de su hogar, escuela o área de trabajo, y su efecto en la salud humana estará determinada, además por el grado de exposición, también por la toxicidad de los contaminantes. <sup>(4,5)</sup>

Internacionalmente, los contaminantes del aire se han clasificado en contaminantes criterio y en contaminantes peligrosos del aire. Los primeros se han identificado como perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos. Se llaman criterio porque fueron objeto de evaluaciones publicadas en documentos criterio de calidad del aire en los Estados Unidos (EUA), con el objetivo de establecer para los contaminantes, niveles permisibles que protegieran la salud, el medio ambiente y el bienestar de la población, tales como: Partículas Suspendidas (PM por sus siglas en inglés Particulate Matter); el Ozono (O<sub>3</sub>), monóxido de

carbono (CO), bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y plomo (pb); son un conjunto de compuestos que pueden causar efectos serios e irreversibles a la salud humana, al igual que los compuestos orgánicos volátiles (COV) <sup>(5)</sup>.

Los contaminantes del aire que pueden ser peligrosos para el tracto respiratorio son los gases químicos como: el NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, CO. Además de las partículas de materia tanto sólidas como líquidas con dimensiones y propiedades químicas diferentes. Algunas de esas partículas pueden ser de origen natural, tales como las biológicas (pólenes, esporas de hongos), partículas finas de tierra, sal marina, partículas de humo y cenizas volcánicas entre otros. <sup>(1,3)</sup> Otras pueden tener origen antropogénico como las emitidas por el efecto del uso de combustibles fósiles y/o las emisiones por quemar otros materiales, ya sean orgánicos o inorgánicos.

Las partículas suspendidas totales (PST), según la norma oficial mexicana NOM-025-SSA-1993 <sup>(6)</sup> son de diámetro aerodinámico menor a aproximadamente 50 micrómetros medidas con muestreador de alto volumen. Son subconjuntos de las PST las partículas de menos de 10 micrómetros de diámetro (PM10), y las partículas de menos de 2.5 micrómetros de diámetro (PM2.5).

Los contaminantes pueden clasificarse como primarios y secundarios. Los primarios son aquellos que se emiten directamente a la atmósfera; tales como el óxido de nitrógeno (NO), óxido de azufre (SO), y monóxido de carbono (CO). Otros contaminantes no se emiten en forma directa a la atmósfera, sino que se producen en ella a través de reacciones químicas, hidrólisis o por oxidación, denominándose estos, contaminantes secundarios, como el O<sub>3</sub>, el smog y otros químicos. <sup>(1,7)</sup> A diferencia de las partículas, los gases tienden a permanecer en la atmósfera y a transformarse en compuestos más simples o complejos, o pueden formar parte de los ciclos bioquímicos. <sup>(3,4,8)</sup>

Los efectos en la salud humana están determinados por la exposición a la contaminación del aire y a la toxicidad de los contaminantes, e incluyen síntomas agudos como cefalea, irritación ocular, hasta enfermedades respiratorias y cardiovasculares, e incluso la muerte prematura. La diversidad de los efectos va a depender de factores tales como la concentración y características del contaminante, además de la susceptibilidad del individuo expuesto y el tiempo de exposición. <sup>(5)</sup>

La exposición se considera aguda cuando se trata de periodos cortos (horas o días), y crónica cuando es por periodos largos (años).<sup>(5)</sup>

La observación acerca de la contaminación del aire y sus efectos a la salud no es reciente. Se le atribuye a Plinio el Joven la primera descripción de una alteración respiratoria fatal inducida por contaminación ambiental natural, siendo esta en el año 73 D.C. cuando hizo erupción el volcán Vesubio en el sur de Italia, y referirse a la muerte de Plinio el Viejo<sup>(3)</sup>:

*“..inclinado sobre 2 sirvientes, se puso de pie e inmediatamente se colapsó de nuevo, yo supongo que su respiración se vio afectada por la densa niebla que obstruyó sus vías respiratorias que eran de naturaleza débil, estrechas y sujetas a inflamación...”*

Hace aproximadamente 1500 años Actios de Antiochenus (500-575 D.C.), un escritor griego bizantino y médico del emperador Justiniano escribió lo siguiente<sup>(9)</sup>:

*“Las irritaciones de los ojos, las cuales son causadas por el humo, sobre-calentamiento del polvo, o lesiones similares, son fáciles de curar; al paciente se le debe de aconsejar primero evitar las causas de la irritación... Para que la enfermedad desaparezca sin el uso de cualesquier tipo de medicamento, debe de adoptarse un estilo de vida apropiado..”*

#### Del Tetrabiblon

El uso excesivo del carbón como fuente energética en la revolución industrial, provocó una severa contaminación del aire, que impactó en la salud. Como lo ocurrido en Londres en el año de 1880, al aparecer una nube oscura en su cielo provocó la muerte posterior de 2,200 personas, siendo esta la primera evidencia sugerente de que la contaminación del aire se relacionaba con enfermedad registrada, lo que obligó a la elaboración de severas medidas para controlar sus emanaciones en Inglaterra y otros países con la consecuente mejoría de sus índices de salud.<sup>(1,2,10)</sup>

Sin embargo no es de sorprendernos que el estudio de los efectos de la contaminación del aire haya iniciado con los más importantes episodios de aumento de la mortalidad, en la cual la relación causa-efecto entre el episodio dramático y sus consecuencias no dejó lugar a dudas. Diversos episodios sucedidos como el de Valle de Meusa, Bélgica (1930), Donora Pensilvania E.U (1948), y el episodio de Londres de Diciembre de 1952 (*the London Fog o la*

*niebla de Londres*), que provocó la muerte a 4000 personas aproximadamente debido a afecciones respiratorias, principalmente bronquitis, fueron una evidencia inequívoca de este problema. <sup>(1,2,3,11)</sup>

El desarrollo de estudios epidemiológicos se inició con el episodio de Londres en 1952, y es hasta 1965 con el estudio de Holland y Reid en el que relacionan la contaminación del aire con el aumento de la bronquitis crónica comparando la función pulmonar en empleados postales de Londres con las de empleados postales de otras poblaciones inglesas, siendo éste el primer estudio en demostrar que la contaminación del aire podía causar importantes efectos crónicos en el largo plazo, estableciendo así el modelo para estudios posteriores. <sup>(1,2)</sup> En 1952 en Los Angeles E.U, Hagen-Smidt demostró que el ozono troposférico se formaba por el efecto de la luz solar sobre los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos que se encontraban en el aire, sin embargo los estudios de los efectos agudos del ozono en la función pulmonar se iniciaron 10 años después. <sup>(2,3)</sup>

La respuesta del Congreso de los Estados Unidos al creciente problema de contaminación ambiental originado por el uso de combustibles fósiles en el periodo posterior a la Segunda Guerra Mundial, fue la aprobación de la *Iniciativa del Aire Limpio* en 1970, creándose la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency o EPA), que es la encargada de identificar contaminantes ambientales que puedan ser considerados potencialmente como un peligro para la salud pública y su bienestar. También la agencia creó en 1971 los Estándares Nacionales de Calidad del Aire Ambiental (National Ambient Air Quality Standards –NAAQS), con la finalidad de establecer niveles aceptables de concentración de contaminantes en el aire para la población, en términos de los riesgos que estos representan para la salud humana. Así, dichas normas definen las concentraciones aceptables durante diferentes periodos de exposición, ya que en algunos casos se considera que una concentración menor pero durante un periodo mas prolongado también representa un riesgo para la salud de la población. <sup>(2,8)</sup>

En nuestro país, la Secretaría de Salud a través del departamento de Salud ambiental es el órgano responsable de evaluar la evidencia de los impactos en la salud por la contaminación del aire, y de establecer los límites permisibles de los contaminantes en la atmósfera. <sup>(6)</sup> Algunos de los valores establecidos en nuestro país son comparables con los de los Estados

Unidos (EUA), o la Unión Europea, como es el caso de las PM2.5 y del valor anual del SO<sub>2</sub>, pero no así el del NO<sub>2</sub>, que es casi el doble al establecido por la Unión Europea.<sup>(5)</sup>

Con estos nuevos conocimientos, en esa época se reconocieron dos patrones de contaminación: el tipo uno de reducción o tipo Londres, que contenía óxidos de sulfuro (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>), ácido sulfúrico, sales de sulfato y partículas suspendidas totales (PST), que fueron asociados con aumento en la mortalidad o de muertes prevenibles de pacientes con enfermedades crónicas cardiacas o coronarias; también se consideraban como factor importante en el desarrollo de Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC). El tipo dos o tipo Los Ángeles, cuya fuente primaria eran las emanaciones de los automóviles, conteniendo óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, siendo estos transformados por la luz solar en componentes secundarios como el O<sub>3</sub>, aldehídos y cetonas, y nitrato peroxiacetil, que fue considerado como responsable de los efectos iniciales.<sup>(3)</sup> Sin embargo, en la actualidad los patrones que caracterizan a la contaminación del aire urbano son mixtos.<sup>(2)</sup>

En las décadas de 1980 y 1990 diversos estudios epidemiológicos en los Estados Unidos como en Europa establecieron una relación directa entre los niveles de contaminación atmosférica y aumento de los índices de mortalidad en poblaciones sensibles.<sup>(12, 13)</sup>

### **3.1. Partículas Suspendidas de Diámetro Menor a 10 Micrómetros (PM 10)**

Contaminación ambiental con partículas de materia se refiere a la presencia en el aire de pequeñas partículas sólidas o líquidas de diversas dimensiones y propiedades químicas, y aunque es muy conveniente y práctico agruparlas bajo el término de partículas, su origen, distribución y efectos son muy variables<sup>(1)</sup>

Las partículas ambientales se originan en diversas fuentes y procesos como lo son: la erosión del suelo, polvo de los caminos, incendios forestales, quemas agrícolas, cenizas volcánicas, o de fuentes tales como los procesos de combustión industrial, emisiones de vehículos, calefacciones domésticas, quema de residuos de basura<sup>(1, 14)</sup>, y abarcan un amplio rango de medidas y materiales, siendo las partículas respirables las que representan un riesgo para la salud. Las partículas más grandes son derivadas principalmente de materiales de la corteza terrestre, y las de menor tamaño se relacionan a procesos de combustión, estas partículas altamente respirables se forman a través de un proceso de aglomeración y uniones de diversos gases y condensados a un núcleo central. Las partículas resultantes usualmente en

el rango de tamaño de nanómetros a micras y pueden estar constituidas de material tanto orgánico como inorgánico en la superficie, mientras sus núcleos están compuestos de carbón o silicatos, generalmente estas partículas son dinámicas y están en continua modificación debido a cambios en la temperatura, humedad y presión atmosféricas, <sup>(16)</sup>

Los componentes de la materia particulada, forman una mezcla de materiales sólidos y líquidos suspendidos en el aire, que pueden variar significativamente su tamaño, forma y composición, dependiendo fundamentalmente de su origen. El tamaño de la materia particulada puede variar de 0.05 a 100 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) en su diámetro aerodinámico, esto es de unos cuantos átomos al grosor de un cabello humano. Las PM10 se pueden dividir en: **gruesas** aquellas con un diámetro aerodinámico entre 2.5 a 10  $\mu\text{m}$ , **finas** las de diámetro aerodinámico entre 1 a 2.5  $\mu\text{m}$ , y las **ultra finas** que incluye a partículas menores de 1  $\mu\text{m}$ . <sup>(12, 15)</sup> El término PM10 se establece para la fracción de materia suspendida en el aire que contiene un diámetro aerodinámico de menos de 10  $\mu\text{m}$  (el cual implica una gravedad específica igual a uno). <sup>(18)</sup> Las PM10, de acuerdo a su origen se describen como partículas primarias, que son aquellas emitidas directamente a la atmósfera desde su fuente, como lo son el tráfico vehicular en carreteras, combustión de carbón industrial, pequeñas partículas de tierra transportada por el viento, y brisa del mar, polvo liberado por explosiones de volcanes, o como resultado de acciones antropogénicas. <sup>(1, 16)</sup>

Las partículas secundarias, son aquellas formadas en la atmósfera por reacciones químicas de la condensación contaminante de gases, como es el caso de sales de sulfatos y nitratos, los cuales son el resultado de los productos de oxidación de dióxidos de sulfuros y óxidos de nitrógeno respectivamente. <sup>(18)</sup>

Las partículas que se encuentran en el aire han sido extensamente relacionadas con el aumento en la mortalidad y morbilidad principalmente en niños y ancianos, y en aquellos con alguna patología, El paradigma toxicológico de *exposición – dosis – respuesta*, uno o los tres de estos elementos pueden variar entre los individuos en la medida en que se relacionan con un ambiente de aire contaminado con material particulado, por un lado pueden tener *exposiciones* variables a una ambiente contaminado, dependiendo del patrón de su actividad. Los individuos *susceptibles* pueden estar predispuestos a una respuesta biológica mayor a el material particulado como sería un pulmón pre-inflamado o en desarrollo, y por otro lado

pueden también recibir una *dosis* variable del contaminante en los pulmones u otro órgano y de esta manera aumentar su susceptibilidad.<sup>(17)</sup> Los términos para describirlas y cuantificarlas es el de partículas de materia suspendidas (PMS) refiriéndose a el total de partículas que se encuentran en el aire<sup>(18)</sup>, y el de partículas suspendidas totales (PST), que indica que se ha utilizado un procedimiento gravimétrico para su determinación. Para denotar el tamaño de la partícula y su posible efecto en la salud, se utilizan los términos de partículas inhalables, que son aquellas que entran al tracto respiratorio durante el proceso de la respiración; las partículas respirables son aquellas capaces de penetrar las regiones pulmonares donde se realiza el intercambio de gases (alvéolos)<sup>(18)</sup>.

Otras definiciones con relación a las partículas suspendidas son<sup>(18)</sup>:

1. Polvo: Partículas formadas por la desintegración de los sólidos
2. Aerosol: Partículas aéreas o gotas
3. Humo: partículas de materia que resultan de procesos de combustión incompleta (partículas que miden menos de 15µm)
4. Humo negro: Partículas de materia no reflectiva (el método de medición de mancha de humo se utiliza en este material)
5. Vapor: Un producto de la condensación del material evaporado ej.: óxidos del hierro de soldadura) y humo (partículas de la combustión de hidrocarburos)

Las fuentes de origen naturales de las PMS y de PM10 varían dependiendo de la localización. Las suspensiones de polvo se originan de la tierra, como también de la evaporación del agua de mar. Los polvos suspendidos cuyo origen es el suelo, son provocados por acción del viento sobre suelos con tierra seca y suelta, se calcula que la cantidad de este polvo en el hemisferio norte es de 150 millones de toneladas por año, y si se incluyera al desierto del Sahara esta estimación fuera el doble.<sup>(18)</sup>

La combustión y procesos metalúrgicos entre otras actividades industriales descargan partículas hacia la atmósfera. La química de las partículas varía dependiendo de los materiales utilizados en estos procesos. Durante la combustión, el carbón libera partículas denominadas ceniza voladora (partículas muy finas contenidas en el carbón). La combustión de combustible

diesel, contribuye a una gran variedad de de partículas, ej.: carbón elemental, carbón orgánico, sulfatos materia no quemada, metales, etc.).

Las altas temperaturas requeridas en los procesos metalúrgicos y de combustión, y junto con la quema de basura, liberan partículas ricas en metales pesados formados por la condensación de humos de metal.<sup>(18)</sup>

Las partículas secundarias se forman en la atmósfera, la mayoría por oxidación química de gases atmosféricos. El sulfato y el bisulfato de amonio son ambas partículas secundarias en el aire, originadas de la oxidación del dióxido de sulfuro a ac. Sulfúrico y su neutralización por iones de amonio en la atmósfera. Los nitratos también son partículas aéreas secundarias, formadas por la oxidación del dióxido de nitrógeno a ac. nítrico y su neutralización por cationes de amonio, y el cloruro de amonio también presente en el aire se forma por la reacción del gas de ac. clorhídrico generado por la combustión de carbón y la quema de basura, con los iones de amonio <sup>(18)</sup>

Los aerosoles se forman de un proceso único de nucleación, condensación y acumulación. Las moléculas de la misma sustancia (presente en un número que excede la presión de saturación del vapor de la sustancia) se juntan para formar partículas muy pequeñas o núcleo. Otras moléculas o partículas (sin importar sus características físicas o químicas) se unen al núcleo ya formado y se condensan ocasionando su crecimiento. El resultado son partículas muy finas y ligeras con un diámetro de 1 a 10 nm. Estas pequeñas partículas colisionan (durante un movimiento Browniano), se adhieren y aglomeran para formar partículas más grandes de 0.05 a 2  $\mu\text{m}$  de diámetro. Estas partículas tienden a estar constituidas en su cubierta por diversos componentes más que de uno solo, y la composición del núcleo está determinada por la composición original del aerosol primario. <sup>(18)</sup>

El depósito de las partículas, tanto su cantidad como localización en el tracto respiratorio, depende de factores relacionados con la exposición individual, como con la partícula inhalada, y los mecanismos de depósito están determinados principalmente por las características físicas y químicas de la partículas, así como factores biológicos del individuo como lo son el patrón respiratorio (volumen y frecuencia), vía de entrada del aire (nariz o boca), y características anatómicas de la vía respiratoria. <sup>(4,18)</sup>

Antes de producir algún efecto, las PM o sus componentes deben de interactuar con los tejidos biológicos, el grado de interacción está relacionado directamente a la biodisponibilidad

ya sea de la partícula o sus componentes solubles e insolubles. Dicha biodisponibilidad está determinada por sus características físicas y químicas, así como el grado de unión de los constituyentes con su núcleo de materia, por lo que se define el término biodisponibilidad a cualesquier componente de las PM, soluble o insoluble, reactivo o no reactivo, el cual se ponen en contacto con los líquidos biológicos.<sup>(18)</sup>

Desde el punto de vista de la composición química, los componentes de las PST se pueden encontrar en las siguientes fracciones: 1) soluble en agua, 2) insoluble en agua con un núcleo fino y superficie reactiva, 3) insoluble en agua con un núcleo fino con superficie no reactiva, 4) proteínas y lípidos orgánicas solubles, 5) partículas ultra finas reactivas, y 6) partículas ultra finas no reactivas. La lista de compuestos orgánicos en el aire es extensa, aunados a los compuestos que son emitidos, la mayoría se forman de la evaporación o derrames de hidrocarburos, fugas de gas natural, uso de solventes, procesos químicos e industriales, y el uso de asfalto.<sup>(18,16)</sup> Los compuestos orgánicos se pueden clasificarse como *volátiles* (una propiedad asociada con el bajo peso molecular), *semi-volátiles*, y *no-volátiles*, estas características, las cuales están estrechamente relacionadas con el peso molecular del compuesto, influyen en su comportamiento en la atmósfera y su asociación con partículas del aire. Los compuestos de bajo peso molecular permanecerán en fase gaseosa en la atmósfera hasta que sean removidos por procesos de oxidación natural por la luz solar; a medida de que su peso molecular aumenta tienden a condensarse en partículas. Los compuestos no-volátiles permanecerán en forma de partículas. Los compuestos orgánicos con alto peso molecular son los que se asociarán a partículas, y los de bajo peso molecular permanecerán como gases.

La composición inorgánica del material particulado en las muestras de aire urbano pueden dividirse en *carbón elemental particulado o carbón negro*, el cual proviene de el tráfico vehicular y se asocia con compuestos orgánicos en partículas de humo; y los *compuestos orgánicos solubles o insolubles en agua*. Las partículas de carbón elemental resultan de la combustión incompleta de hidrocarburos y aceites lubricantes y son general de pequeño tamaño, formando parte de la fracción fina de materia de las PM10, tiene superficie porosa, que le facilita su disponibilidad para los procesos de adsorción, los compuestos orgánicos, metales pesados y material inorgánico pueden ser transportados por ellos, lo que aumenta su peligrosidad para la salud. Los compuestos inorgánicos solubles pueden dividirse en varias categorías:

1: Aerosoles Ácidos: Resultan de una neutralización parcial de los elementos ácidos del aire presentes en la atmósfera, ej.: ácido nítrico, ácido sulfúrico, bisulfatos; debido a una insuficiente cantidad de elementos base, ej.: iones amonio.

2: Sulfatos: Sal sales de sulfato solubles, ej.: sulfato de calcio, sulfato de sodio, son comunes en las partículas del aire su porcentaje en las PM10 es alto, pudiendo llegar hasta el 85%.

3: Nitratos: Las fracciones finas de las PM10 tienen en su mayoría un alto contenido de nitratos, los cuales se forman por un proceso de oxidación del dióxido de nitrógeno.

4: Cloruros: El cloruro de sodio entra a la atmósfera a partir de la brisa marina en las áreas costeras y se encuentra principalmente en forma partículas gruesas. El cloruro de amonio es el resultado de una reacción entre al ácido clorhídrico y los iones de amoniaco liberados por la contaminación de origen industrial, y se encuentra en las fracciones finas de las PM10.

5: Compuestos de Amoníaco: El amoníaco se combina con sulfatos, nitratos y cloruros formando sales, son partículas secundarias y se encuentran en la fracción PM2.5.

6: Otros Cationes: El sodio, el calcio y el magnesio pueden estar presentes, ya sea en forma de sal marina (cloruro de sodio), o en de nitratos y sulfatos o carbonatos. <sup>(18)</sup>

Los materiales insolubles inorgánicos están asociados típicamente a las fracciones gruesas de las PM10, y están formadas por partículas derivadas del suelo, e incluye compuestos como  $\alpha$ -cuarzo, calcita, epsomita, gipsum, cloritos, kaolinita, montmorilonita.

Los metales pueden encontrarse en una diversidad de compuestos diferentes, pueden encontrarse en estado elemental soluble o insoluble o formando compuestos órgano-metálicos, aunque su identificación y cuantificación es difícil, es muy importante hacerlo debido a su posible efecto nocivo en la salud. Su fuente de origen es generalmente antropogénica, ej.: combustión de materiales fósiles, quema de basura, y procesos industriales de altas temperaturas (fundidoras de metales), durante este proceso los metales pesados se evaporan y se condensan principalmente en la superficie de partículas ambientales pequeñas debido a su mayor relación área/masa superficial. <sup>(18)</sup>

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos, ha establecido, desde 1987 para las PM10 una *concentración máxima en 24 horas* de  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , y el *promedio anual permitido se estableció en*  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  <sup>(8)</sup>. En nuestro país el criterio para evaluar la

calidad del aire es similar, y está contenido en la Norma Oficial NOM-025-SSA1-1993 para partículas PM10 y PM2.5, que establece que para efectos de protección de la salud de la población más susceptible, los valores para las PST es de 210  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de aire en promedios de 24 horas, para las PM10 es de 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de aire en promedios de 24 horas, y de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de aire en promedios anuales. Para las PM2.5 es de 65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en promedios de 24 horas, y de 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en promedios anuales. <sup>(6)</sup>

Diversos componentes activos del material particulado se han identificado por tener un efecto biológico adverso tanto en estudios in Vitro como en animales. Los principales componentes encontrados incluyen: sílice, iones metálicos (hierro, vanadio, níquel, cobre), residuos orgánicos ej.: los hidrocarburos poli-aromáticos encontrados en la combustión del diesel; aerosoles ácidos y contaminantes biológicos (endotoxinas), entre otros. <sup>(16, 39)</sup> En estudios in Vitro los iones metálicos han demostrado que activan las vías de señalamiento celular NF- $\kappa$ B, y la producción de citocinas pro-inflamatorias. <sup>(19, 20, 21)</sup>

Los estudios epidemiológicos han establecido una asociación significativa entre el material particulado del aire, especialmente las PM10 y el aumento de la morbi-mortalidad del sistema cardio-respiratorio. <sup>(4, 19, 20)</sup> Aunque los mecanismos por medio de los cuales un contaminante del aire tenga un efecto deletéreo son complejos y, aún no están bien definidos <sup>(19, 21, 20, 22)</sup>, se ha postulado que la inhalación de partículas finas ocasiona una respuesta inflamatoria de baja magnitud a nivel pulmonar, en donde los macrófagos alveolares son las células que probablemente se relacionen con éste proceso, debido a que son las responsables de ingerir y eliminar las partículas inhaladas, su interacción con partículas atmosféricas aumenta su actividad fagocítica, su producción oxidativa, y la liberación de mediadores inflamatorios, tales como el factor de necrosis tumoral alfa (FNT- $\alpha$ ) en una relación dosis dependiente; además se ha encontrado una elevación de otras citocinas circulantes como GM-CSF, que es un factor de crecimiento hematopoyético que estimula la diferenciación de granulocitos y monocitos y su liberación por la médula ósea. También activa a los leucocitos circulantes prolongando su vida en la circulación. <sup>(4, 19, 20)</sup> Recientemente se le ha identificado como un importante factor de exocitosis de granulocitos que puede aumentar su capacidad de daño tisular pulmonar <sup>(19, 21)</sup>; IL-1 $\beta$  que es una citocina de respuesta aguda e induce la producción de otras citocinas, estimula hematopoyesis, activa células endoteliales y tiene actividad pirógena, y de IL-6, que estimula la producción de proteínas de fase aguda como la proteína C reactiva. <sup>(19, 21, 22, 23)</sup> En estudios efectuados por Ghio y colaboradores <sup>(24)</sup>, y los de Bernstein y

cols <sup>(23)</sup> en individuos jóvenes voluntarios sanos expuestos a concentrados de partículas ambientales, encontró una elevación en número de neutrófilos en los lavados bronco-alveolares y bronquiales que se les efectuaron, por lo que demostró que desarrollaban inflamación del tracto respiratorio inferior.

Osornio y colaboradores en 1991<sup>(48)</sup> reportando el efecto cito tóxico, y posteriormente el 2007 <sup>(25)</sup> estudiaron el efecto toxicológico de las PM10, era diferente dependiendo de su origen, encontrando que las partículas antropogénicas tienen un efecto pro-inflamatorio y las partículas de origen geológico tienen un efecto cito tóxico corroborando con sus hallazgos, que las PM de diferente composición originan patrones toxicológicos diferentes, y probablemente diferentes formas de afección en la salud humana. Las PM10 de origen geológico se asocian estrechamente a mecanismos que tienen consecuencias severas en la salud como lo son la fibrosis pulmonar, retraso en crecimiento y desarrollo, y cáncer. Las de origen antropogénico provocan más inflamación, por lo que pueden tener un gran impacto en enfermedades pulmonares y cardiovasculares. También encontraron que el efecto se relacionaba con el tamaño de la partícula, relacionando a las partículas finas con un mayor potencial pro-inflamatorio, y a las PM10 con un efecto cito tóxico o pro-inflamatorio dependiendo de su origen.

El efecto inflamatorio que ejercen las PM10 en las vías respiratorias es también dependiente del tipo de contaminante, del tiempo de exposición, y predisposición de cada individuo, y actúa como un agravante de patologías pre-existentes como lo son el asma, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), y se ha relacionado con el desarrollo de cáncer pulmonar, infecciones recurrentes del tracto respiratorio, y con un aumento tanto en su atención en unidades de emergencia, consumo de medicamentos como en los índices de mortalidad de origen cardiovascular y muerte súbita.<sup>(12, 39, 26, 27, 28, 29, 30)</sup>

El efecto de la exposición crónica a niveles elevados de PM10 sobre la función pulmonar en niños, determinada por mediciones de CVF y FEV<sub>1</sub>, ha sido comprobada en múltiples estudios epidemiológicos, como los de Rojas-Martínez y cols en la ciudad de México <sup>(64)</sup> en 3,170 escolares de 8 años de edad, en un seguimiento de 3 años, y los de Holguín y colaboradores <sup>(31)</sup> en niños de 6 a 12 años sanos y con asma expuestos a contaminación del tráfico vehicular durante la espera para el cruce de la frontera de México-Estados Unidos. Reportando resultados similares Moshhammer y colaboradores <sup>(32)</sup> en Austria quienes

efectuaron espirometrías repetidas cada 15 días por 8 meses en 163 en niños sanos de 7 a 10 años de edad y Horak y colaboradores <sup>(33)</sup> en 8 comunidades austriacas en 975 escolares de 8 años de edad .

También se ha estudiado el efecto de a la exposición de este contaminante en niños con patología respiratoria pre-existente como lo es el Asma, encontrándose que afecta la persistencia y severidad sintomática como los parámetros espirométricos, como lo estudios reportados por Romieu y colaboradores, y Delfino y colaboradores en la ciudad de México <sup>(34, 35)</sup>, Peters y colaboradores <sup>(36)</sup> en California, Estados Unidos, y Roemer y colaboradores en la comunidad europea <sup>( 37)</sup>. Ravinovich y colaboradores establecen que existe una relación positiva entre las partículas finas contaminantes y la presencia del marcador de inflamación leucotrieno E<sub>4</sub> (LTE<sub>4</sub>) el cual es un producto de células inflamatorias incluyendo los eosinófilos, y tiene propiedades pro-inflamatorias y bronco constrictivas <sup>(38)</sup>

Las diversas series de estudios epidemiológicos efectuados para determinar el posible efecto de estos contaminantes del aire en la función pulmonar, han determinado, en todos ellos que existe una disminución en los valores predichos en los parámetros espirométricos medidos como lo son volumen espiratorio forzado, capacidad vital forzada, flujo espiratorio máximo. <sup>(44,27,28,29)</sup>

En los últimos años se han desarrollado diversas investigaciones con relación a las partículas urbanas en rango respirable (menores de 10 µm de diámetro (PM10)), demostrándose en los resultados obtenidos en los análisis de series de tiempo que existe una relación entre los índices de mortalidad diaria con los niveles de PM10 previos a la fecha de deceso. <sup>(2, 3, 4, 8, 12)</sup>. Existen diversos estudios que establecen la evidencia internacional de una asociación de efectos nocivos a la salud y los niveles de aire ambiental contaminado de PM10 se asocian con disminución de la función pulmonar en niños y en adultos, aumento en los ingresos hospitalarios por padecimientos respiratorios, agravamiento del asma, y de enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), ausentismo escolar, aumento en al morbilidad y mortalidad de origen cardiovascular. <sup>(3, 7, 13, 39, 40, 41 , 42, 43, 44, 45, 46 )</sup>, como el efectuado por Hoek y colaboradores quienes analizaron los resultados obtenidos en 5 grupos de estudio en Europa, en donde correlacionaron los niveles de PM10 ambiental y su impacto sobre el flujo espiratorio máximo (FEM) en niños, encontrando que un aumento de la

concentración promedio de PM10 de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  se asocia a una caída del 10% en los valores del FEM <sup>(47)</sup>.

### 3.2. El PM10 de Mexicali y la salud

En 1991 Osornio-Vargas<sup>(48)</sup> y colaboradores analizaron el contenido del polvo de la ciudad de Mexicali, Baja California, encontrando que era una mezcla del 76% de silicatos de potasio y aluminio (alita), y 20% de sílice, y determinaron su grado de toxicidad en ratas de laboratorio, quienes desarrollaban una enfermedad intersticial pulmonar multifocal con depósitos de silicatos de aluminio. Posteriormente en 1997, la EPA determinó las fuentes y los tipos de materiales micro-fraccionados suspendidos en el aire de los valles de Mexicali, Baja California (México) e Imperial, California (EUA), encontrando que en promedio, el principal componente de las PM10 era el material geológico (50-60%), y en segundo lugar la ceniza con un 25% del total, y con un 1 al 4% del total otros componentes como sulfatos, nitratos, amoníaco, aluminio, sílice, titanio, calcio y hierro.<sup>(10)</sup> El 2007 el reporte inter-institucional dirigido por Osornio y colaboradores, encontró que el efecto pro inflamatorio y cito tóxico del polvo de Mexicali, se relacionaba estrechamente tanto con el origen de las PM10 (antropogénicas y citotóxicas respectivamente), así como con el tamaño de las partículas finas y gruesas<sup>(25)</sup>

El centro para estudios económicos de la frontera y regionales de el estado de California EUA (CCBRES), en el año 2001 reportó que los niveles de PM10 en el Valle Imperial fueron de 80,414 toneladas al año, y en la ciudad de Mexicali de 70,323 toneladas (sin contabilizar al valle de Mexicali).<sup>(10)</sup>

Mexicali, Baja California, es actualmente una de las 3 ciudades más contaminadas del país, y la primera ciudad con el nivel mayor de partículas PM10 <sup>(5)</sup> (tabla 1). Continuamente falla en alcanzar los estándares anuales de calidad del aire (*i.e.*,  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>(5)</sup>, con un pico en su concentración atmosférica durante los meses de invierno(fig 1), teniendo un severo impacto en el aumento de la incidencia en las hospitalizaciones por enfermedades respiratorias como son el asma y la neumonía; Reyna y colaboradores <sup>(10, 11)</sup> revisaron los reportes epidemiológicos de hospitalizaciones de la Secretaría de Salud del Estado de Baja California, por afecciones respiratorias durante los años 1997 al 2000, encontrando 705,222 para infecciones del tracto respiratorio, 17,643 por asma y 6,400 por neumonía, siendo la mayor

incidencia durante los meses de invernales de enero y febrero, coincidiendo con los meses de mayor concentración ambiental de este contaminante.

tabla 1

CUADRO 1. CLASIFICACIÓN DE LAS CIUDADES POR CONTAMINANTE (2005)

CONTAMINANTE	ZMVM	ZMG	ZMVT	PUEBLA	SALAMANCA	ZMM	CIUDAD JUÁREZ	TIJUANA	MEXICALI
PM <sub>10</sub>	6°	5°	2°	8°	NA	3°	4°	7°	1°
O <sub>3</sub>	1°	2°	4°	7°	NA	3°	5°	8°	6°
CO	5°	2°	4°	8°	NA	6°	3°	7°	1°
SO <sub>2</sub>	2°	5°	3°	6°	1°	4°	NA	8°	7°
NO <sub>2</sub>	2°	1°	4°	7°	NA	6°	NA	5°	3°

NA: no aplica.

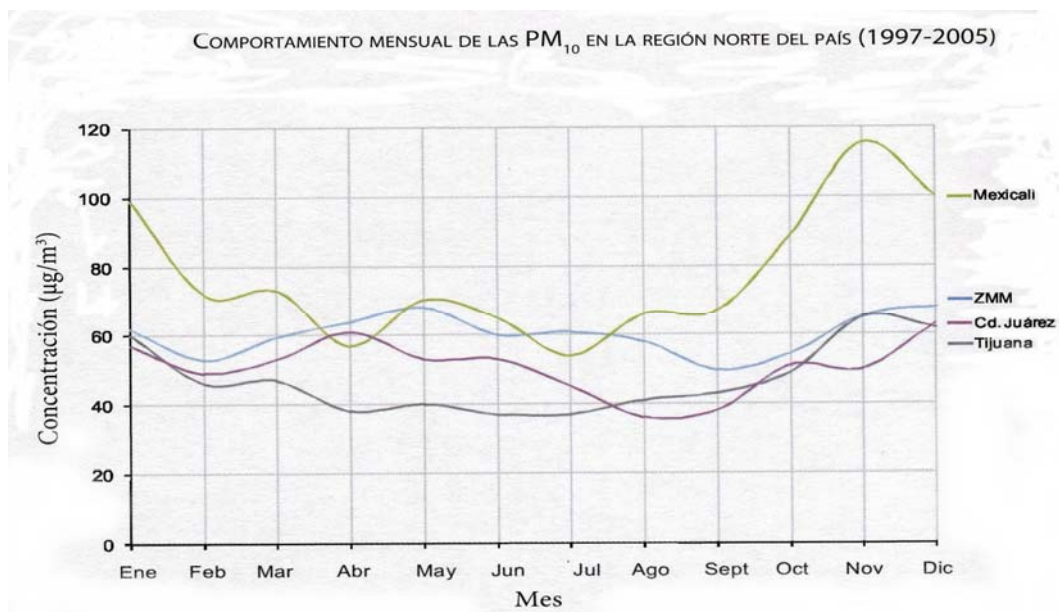


figura 1

### 3.3. El Ozono

El ozono (O<sub>3</sub>) fue el primer alótropo de un elemento químico en ser descrito científicamente, y fue descubierto por Friedrich Schoben en el año de 1840, quién lo llamó de esa manera tomándolo del griego *ozein* que significa olor, debido al aroma peculiar que se

origina en las tormentas eléctricas, ocasionado por los iones producidos durante los rápidos cambios químicos que ocurre en la descarga del rayo, y no por el ozono mismo. <sup>(49, 50)</sup>

El  $O_3$  es un gas que se forma en la atmósfera cuando se combinan 3 átomos de oxígeno, y se caracteriza por ser incoloro, de olor peculiar y por su capacidad de oxidar materiales; es mucho menos estable que el oxígeno ( $O_2$ ), se encuentra en forma natural en la estratosfera, sin embargo actúa como contaminante secundario cuando se encuentra en la troposfera, formándose mediante la reacción química de óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) y compuestos orgánicos volátiles (COV) en la presencia de la luz solar (i.e., fotones de  $2\mu m$ ), ambos contaminantes son emitidos principalmente por vehículos de motor y fuentes industriales (fig 2). Las mayores concentraciones se encuentran durante las horas con luz solar, tiene efectos tóxicos aún en concentraciones bajas, provocando inflamación neutrofílica aguda que persiste hasta 24 hs después de la exposición, cambios agudos en la función, estructura y metabolismo de el sistema respiratorio, reflejado con la disminución de la CVF y el VEF1, además de una depresión en el sistema inmunológico de los humanos y animales, siendo los grupos más vulnerables los niños y las personas de edad avanzada. Es el principal componente del smog fotoquímico o niebla fotoquímica. <sup>(5, 52, 49, 53)</sup>

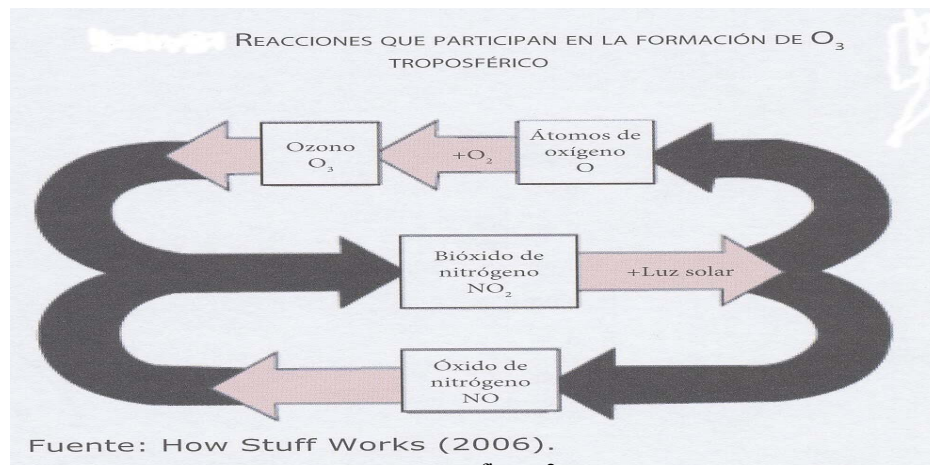


figura 2

El ozono, aunque constituye uno de los contaminantes más importantes del mundo, es beneficioso para los seres humanos y otros seres vivos cuando se encuentra en la estratosfera, la capa de aire que protege a la troposfera, ya que actúa como un filtro evitando la penetración de los potencialmente dañinos rayos ultravioleta, pero cuando se encuentra en

concentraciones altas a nivel de troposfera o capa inferior de la atmósfera, se le considera contaminante. <sup>(49, 51)</sup> Los valores límite de su concentración en el aire internacionalmente aceptados son de 0.110 ppm (234 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de aire) (México) a 0.112 en promedios de 1 hora, (EUA), y de 0.060 (Comunidad europea) a 0.080 ppm (157 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de aire) (México, EUA) en promedios de 8 horas, sin que se rebase más de 4 veces en 1 año, y tienden a incrementarse en los días calientes, soleados y con poco viento, con un pico máximo después de mediodía. <sup>(5,52, 53)</sup>

La Norma Oficial Mexicana <sup>(54)</sup> establece como límite horario permisible una concentración de 0.110 ppm promedio horario para no ser rebasado en un periodo de 1 año, tomándose en cuenta los días que tengan el 75% de valores horarios del día (18 horas). Un sitio cumplirá con la norma cuando cada uno de los valores horarios sea menor o igual a 0.110 ppm. En el caso en el que se cuente con menos del 75% de los posibles valores horarios, se incumplirá con la norma cuando uno de los valores sea mayor a 0.110 ppm.

La concentración promedio de ocho horas de ozono, como contaminante atmosférico, debe de ser menor o igual a 0.08 ppm tomado como el quinto máximo, en un periodo de un año. Para obtener el valor de 8 horas, se promediarán los valores horarios de las ocho horas previas continuas, registrando el resultado en la última hora promediada. Un promedio será considerado válido cuando se haya calculado con al menos 75% de los posibles valores horarios (seis horas). Cuando se tengan menos de ocho horas, el promedio se calculará usando como divisor seis o siete, según sea el caso <sup>(54)</sup>.

El ozono es una molécula altamente reactiva que produce sus efectos por medio de reacciones de radicales libres en la capa líquida de la vía aérea ocasionando una oxidación de bio-moléculas, liberando radicales hidroxilo que pasan por difusión al interior de las células, provocando depleción del ATP, una sulfhidril oxidación y ruptura de las cadenas de DNA, por medio del bloqueo de la glicólisis y de la respiración mitocondrial provocando muerte celular; producen elementos no-radicales a partir de compuestos orgánicos, como los aldehídos por medio de la ozono lisis de los ácidos grasos de la membrana celular que inducen una oxidación del ácido araquidónico en dicha membrana que origina metabolitos pro-inflamatorios del ácido araquidónico; y provoca una alteración de proteínas estructurales y funcionales, con depósito de colágeno en el epitelio de la vía aérea, ocasionando una disminución de la función pulmonar e hiperreactividad bronquial en los humanos. <sup>(51, 55)</sup>

En 1989 los estudios iniciales de los efectos nocivos para la salud por el ozono, Hazucha y colaboradores en Canadá estudiaron en 14 pacientes sanos el efecto de la exposición controlada al ozono combinada con ejercicio en la función pulmonar (volumen pulmonar, velocidad y volumen de flujos, capacidades inspiratorias y espiratorias máximas), mecánica pulmonar, encontrando que el ozono inducía una disminución de casi el 18% de la capacidad vital, aumento a la resistencia de l aire, disminución del 19% de la presión transpulmonar, y aumento en la frecuencia respiratoria con disminución del volumen respiratorio, concluyendo que estos hallazgos sugerían que la inhalación de ozono estimulaba los receptores y terminales nerviosas de las vías aéreas ocasionando una reducción involuntaria de la inspiración, de la capacidad pulmonar total y de la capacidad vital. <sup>(56)</sup>

Holgate y colaboradores <sup>(57)</sup> en Inglaterra encontraron que posterior a la exposición corta de ozono en pacientes sanos provocaba una disminución de la densidad de los nervios sensitivos sub epiteliales inmnoreactivos a la sustancia P de las vías aéreas, así como una respuesta inflamatoria temprana y daño del epitelio bronquial después de 6 horas de exposición, relacionándolo con bronco constricción, medida por una disminución en el porcentaje del VEF<sub>1</sub>, lo que sugiere que los neuropéptidos (taquicininas como la Sustancia P, neurocininas) están relacionados con el proceso inflamatorio de la mucosa bronquial y en el desarrollo de bronco constricción

Los grupos de Jorres y de Holz en Alemania <sup>(58,59)</sup> investigaron los cambios celulares y bioquímicos en lavado bronquio-alveolar (LBA) y en biopsia de mucosa bronquial posterior a la exposición aguda y repetitiva a ozono comparándola con la exposición al aire filtrado y ejercicio intermitente, en pacientes sin patología pulmonar, encontrando un caída en el VEF<sub>1</sub>, un aumento en los porcentajes de neutrófilos y linfocitos, proteínas totales, albúmina, IL-6, IL-8, y de marcadores de inflamación como lo son el glutatión reducido, uratos y ortotirosina en el LBA, pero no detectaron cambios en la composición celular en las biopsias en los pacientes con una exposición a O<sub>3</sub>; en los pacientes con exposición repetitivas a O<sub>3</sub> el efecto en la función pulmonar fue menor, la composición celular en el LBA no fue diferente que el grupo expuesto al aire filtrado, sin embargo los cambios bioquímicos permanecieron iguales a los encontrados en el grupo de 1 sola exposición, demostrando con ello que la inflamación de la mucosa de la vía aérea es persistente o mayor en la exposición repetida del O<sub>3</sub> a pesar de la disminución de marcadores de la inflamación en el LBA, e independientemente de la adaptación de la función pulmonar.

En diversos estudios epidemiológicos realizados al inicio de la década de los 90, la exposición al ozono se ha asociado, a diferentes efectos en la salud como lo son la disminución de la función pulmonar medida por la capacidad vital forzada (CVF) y el volumen espiratorio forzado en 1 segundo (VEF<sub>1</sub>), Flujo Espiratorio Forzado al 25-75% (FEF<sub>25-75</sub>), y volúmenes máximos (Vmx<sub>50</sub> y Vmax<sub>75</sub>)<sup>(60,61)</sup>, aumento en los ingresos hospitalarios por enfermedades respiratorias en todos los grupos de edad, siendo más importante en el grupo de menores de 2 años de edad, exacerbaciones sintomáticas de pacientes con enfermedades pulmonares pre-existentes y el incremento de la utilización de los servicios de urgencias<sup>(62)</sup>, aumento de la mortalidad diaria en ciudades con altos niveles de contaminación con este contaminante, como lo es la ciudad de México<sup>(63)</sup>; disminución de la función pulmonar con exposiciones cortas<sup>(57,58)</sup>, en el largo plazo<sup>(51,64,65)</sup>, en vacacionistas de campos de veraneo<sup>(60,66,67,68,69)</sup>, en escolares<sup>(70,71,72,73,74)</sup>, entre otras.

La disminución en los parámetros de la función pulmonar CVF, VEF<sub>1</sub>, FEF<sub>25-75</sub> y la inducción de síntomas respiratorios que incluyen tos, disnea, dolor a la inspiración profunda, además de cefalea, aparecen posterior a la exposición de ozono ambiental, y la magnitud de dichas alteraciones funcionales respiratorias y síntomas, están en relación a la concentración del ozono, ventilación por minuto al tiempo de la exposición, y duración de la exposición. Concentraciones que pueden variar de 0.08 a 0.4 ppm<sup>(52,53,57,62,75,53,76)</sup>, la base biológica de estas alteraciones obtenidas en estudios de laboratorio en humanos está bien fundamentada, demostrándose la disminución en los parámetros de función pulmonar, hiperreactividad bronquial, e inflamación posterior a las concentraciones importantes de ozono<sup>(63,64,66,70,71,75,77,78)</sup>; sin embargo los estudios de relación entre la dosis de ozono inhalada y la inflamación pulmonar aguda y el daño tisular no han sido desarrollados, por lo que no existe un valor o dosis de ozono por debajo del cual se pueda establecer como límite para provocar o no daño a la población sana. Estudios clínicos han demostrado que los cambios en los valores espirométricos no se relacionan con los hallazgos inflamatorios y con la severidad de los síntomas, por lo que se requieren más estudios a mayor escala de relación causa efecto.<sup>(75,79,80,81,82)</sup>

Romieu y colaboradores en México estudiaron la influencia de factores genéticos en la variabilidad de la respuesta interindividual al ozono en pacientes asmáticos, determinando la relación del polimorfismo en dos genes relacionados en la respuesta del efecto oxidativo: glutatión S-transferasa M1 (GSTM1) y el P1 (GSTP1) con los síntomas respiratorios y la

respuesta de la función pulmonar al ozono en niños asmáticos; encontrando que los niños con genotipos GSTM1 null y los GSTP1 valina/valina eran mas susceptibles a desarrollar síntomas respiratorios relacionados con la exposición a ozono<sup>(83)</sup>

### 3.4. El O<sub>3</sub> en Mexicali

La ciudad de Mexicali, Baja California ocupa el 6° lugar de 9 ciudades de México monitoreadas por el Instituto Nacional de Ecología en concentración atmosférica de O<sub>3</sub>, (figura 3), con un comportamiento horario de 0.470 ppm y con un predominio de las 11 a las 17 hs del día; el comportamiento mensual anualizado en 7 años (figura 4) indican un franco predominio durante los meses de primavera abril y mayo, con una disminución en sus niveles atmosféricos durante los meses de invierno<sup>(5)</sup>

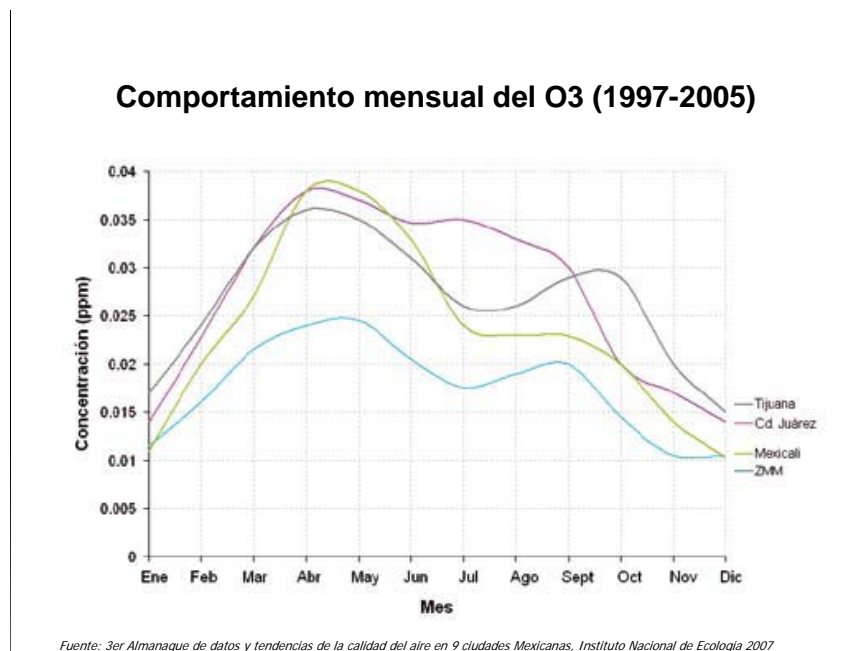


figura 3

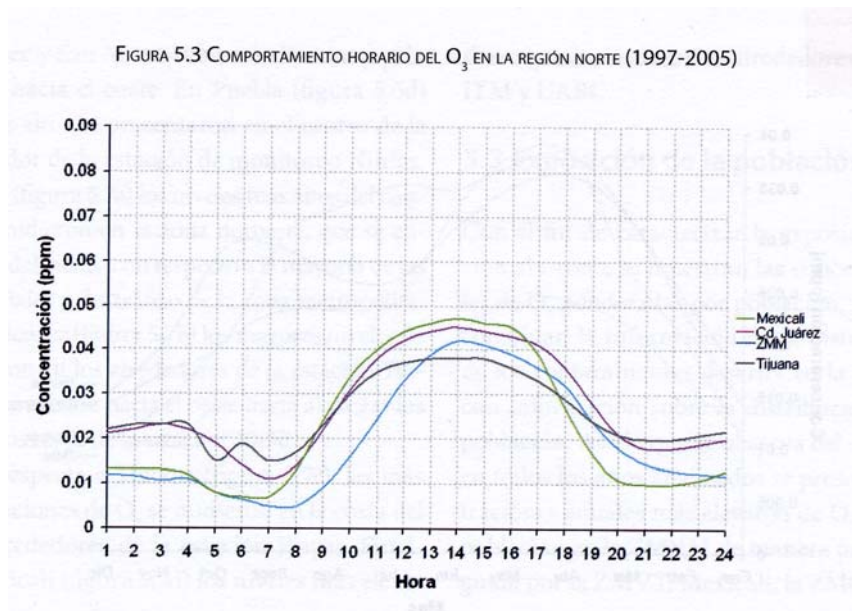


figura 4

### 3.5. ESPIROMETRIA

Durante las últimas 4 décadas, las pruebas de función pulmonar (PFP) han evolucionado de ser un instrumento útil únicamente para estudios fisiológicos, a ser instrumentos de gran ayuda para los estudios clínicos, siendo utilizadas ampliamente para evaluar el estado de la condición respiratoria, en medicina ocupacional, medicina del deporte y en salud pública.<sup>(84,85)</sup> Sus resultados se correlacionan con la morbilidad y la expectativa de vida<sup>(86)</sup>, sin embargo, no establecen un diagnóstico etiológico.<sup>(85, 87)</sup> Su importancia radica en que proporcionan mediciones objetivas y reproducibles de la función respiratoria que pueden posteriormente ser utilizadas para evaluar la evolución en individuos previamente sanos o que sufran de alguna enfermedad respiratoria, además de monitorear la respuesta a tratamientos establecidos, establecer alteraciones funcionales incipientes del sistema respiratorio, clasificar el tipo de alteración y su grado de severidad.

De las pruebas de función respiratoria (PFR), la espirometría es la técnica más utilizada, otras como la medición de volúmenes pulmonares, resistencia de vías aéreas, capacidad de difusión de monóxido de carbono, y la gasometría arterial, tienen los inconvenientes del alto costo, inaccesibilidad a los servicios que los apliquen, y algunas, de limitada utilidad clínica.<sup>(85)</sup>

La espirometría es una prueba fisiológica que mide la forma en que los individuos inhalan o exhalan volúmenes de aire en función del tiempo <sup>(88, 89)</sup>, es la mejor prueba para evaluar la función mecánica pulmonar, y la más reproducible si se siguen los lineamientos establecidos por la Sociedad Americana del Tórax (ATS por sus siglas en inglés).<sup>(84,86,89)</sup>

En el año de 1846 John Hutchinson un cirujano inglés, acuñó el término capacidad vital, describiéndolo como la suma de *el aire de reserva, el aire respirable, y el aire complementario*, constituida por *una espiración máxima voluntaria, seguida de una inspiración máxima* <sup>(90)</sup>, y describe la posibilidad de evaluar la función pulmonar por medio de su medición. Efectuó su estudio de investigación en 2,130 individuos por medio de un dispositivo de su invención denominado espirómetro, con la finalidad de *cuantificar el aire exhalado de los pulmones; determinar la capacidad total o absoluta de los pulmones con mediciones cúbicas, de superficie y longitudinales; determinar los movimientos y grado de desplazamiento del tórax; calcular la potencia muscular determinando la elasticidad de las costillas estimando la fuerza respiratoria voluntaria; establecer la fuerza diametral y oblicua en relación a la función de los músculos intercostales y por último, establecer deducciones generales y prácticas, para detectar enfermedades con la aplicación del método del espirómetro* <sup>(90,91)</sup>, y establece que la capacidad vital en un hombre sano está influenciada por diferentes características físicas (edad, sexo, peso, estatura.), y que las personas con las mismas características físicas deben de tener la misma capacidad vital, y en el caso de estar reducida es un indicador de enfermedad pulmonar. <sup>(91)</sup>

### **3.5.1. Indicaciones de la Espirometría** <sup>(87, 89)</sup>

#### **Diagnóstico**

- Evaluar síntomas, signos y pruebas de laboratorio anormales
- Medir el efecto de las enfermedades en la función pulmonar
- Buscar individuos con riesgo de desarrollar una enfermedad pulmonar
- Evaluación pre-operatoria
- Evaluación del estado de salud antes de iniciar un programa de actividad física intensa

## **Monitoreo**

- Evaluación de una intervención terapéutica
- Describir la evolución de una enfermedad que afecte la función pulmonar
- Monitoreo de personas expuestas a agentes dañinos
- Monitoreo de reacciones adversas a drogas con un conocido efecto tóxico pulmonar

## **Evaluación de Discapacidad o Incapacidad**

- Evaluar a pacientes de programas de rehabilitación
- Evaluar el riesgo como parte de una evaluación de seguros de gastos médicos
- Evaluar a individuos por motivos legales

## **Salud Pública**

- Estudios epidemiológicos
- Derivación de ecuaciones de referencia
- Investigación clínica

La espirometría es una maniobra que puede efectuarse con diversos tipos de equipos o aparatos, en la actualidad la mayoría son computarizados, que requiere de la cooperación y coordinación entre el individuo que es examinado y el técnico que efectúa el estudio; y los resultados dependerán tanto de factores técnicos ej. características del desempeño y validación del equipo; como de factores personales ej. maniobra de realización, procedimientos de medición, aceptabilidad y repetitividad de los resultados, su interpretación de acuerdo a los valores de referencia pre-establecidos. <sup>(84, 86, 87, 88, 89)</sup>

La reglamentación o estandarización de la espirometría fue establecida por la ATS en el año de 1979, y con actualizaciones posteriores en los años de 1987, 1991, y 1994, y recientemente en el año 2005 en forma conjunta con la Sociedad Europea de Respiratorio (ERS por sus siglas en inglés European Respiratory Society) <sup>(84, 86, 89)</sup>. Basados en los resultados de estudios

científicos y en la evolución tecnológica, establecieron las actuales recomendaciones para la realización de los estudios espirométricos, con la finalidad de disminuir la variación de origen técnico, y tomar en cuenta las variaciones biológicas que afectan la reproducibilidad y la precisión de sus resultados, las cuales deberán estar dadas por diversas causas, como son: (1) variaciones técnicas o relacionadas con el equipo utilizado, o con el procedimiento; (2) variaciones biológicas como edad, sexo, estatura, raza, posición del cuerpo, esfuerzo durante la maniobra, y (3) variaciones relacionadas con el estado de salud, factores ambientales, estado socio económico del individuo; y poder evaluar e interpretar correctamente las diferencias causadas por la enfermedad, las cuales son: (1) desempeño del equipo, validación y control de calidad; (2) desempeño del paciente; (3) procedimientos de medición para determinar la aceptabilidad y reproducibilidad; (4) valores de referencia e interpretación. <sup>(84, 86, 89)</sup>

Los espirómetros actuales permiten el registro de volúmenes por integración de una señal electrónica de flujo; la utilización de programas computarizados facilitan y hacen más rápido el cálculo, ya que realizan un análisis automático de las mediciones, proporcionan tablas de cifras expresadas en valor absoluto y en porcentajes de los valores previstos, y además presentan los resultados en gráficas que son indispensables para la interpretación de los datos obtenidos en el estudio. <sup>(85)</sup>

La espirometría electrónica nos permite obtener 2 tipos de registros y gráficos: (1) para Tiempo-Volumen: volumen espiratorio forzado en 1 segundo ( $VEF_1$ ), capacidad vital forzada (CVF), flujo espiratorio forzado entre 25 y 75% de la capacidad vital (FEF 25-75%), y el coeficiente de  $VEF_1/CVF$ ; y (2) para Flujo-Volumen: flujo espiratorio máximo o flujo pico (FEM), FEF 25-75%, FEF 50% y FEF 75%

De acuerdo a los requisitos establecidos para la estandarización de la espirometría, los equipos utilizados deben de llenar requisitos técnicos mínimos para obtener mediciones precisas como son (1) ser capaces de acumular volúmenes de aire por  $\geq 15$  segundos, (2) medir volúmenes de  $\geq 8$  L (BTPS por sus siglas en inglés: *body temperature and ambient pressure saturated with water vapor*) con una precisión de al menos  $\pm 3\%$  de la lectura obtenida o  $\pm 0.50$  L o lo que sea mayor con flujos de aire entre 0 y  $14 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ ; (3) la resistencia total al flujo del aire a  $14 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  debe de ser de  $< 1.5 \text{ cmH}_2\text{O}\cdot\text{L}^{-1}$ ; (4) exhibir resultados tanto en gráficas de flujo-volumen, como volumen tiempo; (5) mantener el control de calidad del

equipo por medio de la calibración con jeringa mecánica de 3L diariamente, revisión constante de su funcionamiento (volumen, y flujos, tiempo de pruebas y actualización del software).<sup>(89)</sup>

Se ha considerado a la CVF, que es el volumen de aire exhalado durante una espiración efectuada con el máximo esfuerzo y completa posible, después de una máxima inspiración inicial, expresada en litros a temperatura corporal y presión ambiental saturada con vapor de agua (BTPS); y al VEF<sub>1</sub>, el cual es el volumen exhalado en el primer segundo de una espiración forzada a partir de una inspiración completa expresada en litros a BTPS, las mediciones mas importantes o mediciones “guía” para la interpretación de los resultados de la espirometría, que nos proporcionarán un diagnóstico funcional, ya sea un defecto ventilatorio de tipo obstructivo cuando hay una reducción desproporcionada de flujo respiratorio máximo de los pulmones en relación a volumen máximo que puede ser desplazado de los pulmones, es decir, cuando el flujo del aire se reduce más que el volumen de aire, en donde la relación VEF<sub>1</sub>/CVF es el parámetro o guía para caracterizarlo, y la medición de VEF<sub>1</sub> para determinar su severidad y de tipo restrictivo cuando el defecto ventilatorio se caracteriza por una reducción en la capacidad pulmonar total (CPT) por debajo del quinto percentil del valor predicho, y una relación VEF<sub>1</sub>/CV, es decir cuando el volumen de aire está más reducido que el flujo; o una combinación de ambos, pero no permite efectuar diagnóstico etiológico.<sup>(84, 85, 89, 92, 93)</sup>

### **3.5.2. Procedimiento**<sup>(89)</sup>

La maniobra para determinar la CVF tiene 3 fases que son cronológicamente consecutivas: (1) inspiración máxima; (2) soplido o exhalación intensa, y (3) exhalación continuada hasta el final de la prueba.

La técnica del procedimiento es la siguiente:

- Verificar la calibración del espirómetro
- Explicar al paciente en que consiste la prueba
- Registrar los datos del paciente (edad, sexo, estatura, peso, tabaquismo, enfermedades recientes, medicamentos que utiliza)

- La instrucción de la prueba al paciente debe de incluir: postura correcta, técnica de soplido (inhalación rápida y completa, y exhalación prolongada y forzada), posición del dispositivo en la boca
- Aplicación del obstructor nasal (clip nasal)
- Insertar el dispositivo en la boca, y apretando y sosteniéndolo con los labios para evitar fugas de aire, evitar que la lengua lo ocluya
- Efectuar una inhalación completa y rápida con una pausa  $<1$  segundo de la capacidad pulmonar total (CPT)
- Efectuar una exhalación máxima hasta ya no poder expeler mas aire, manteniendo la postura vertical
- Repetir las instrucciones las veces necesarias e incentivar intensamente al paciente
- Efectuar un mínimo de 3 y no más de 8 maniobras
- Verificar la repetitividad y efectuar más maniobras en caso de ser necesario.

Los criterios de terminación de la prueba son: (1) que el paciente no pueda continuar exhalando, o que manifiesten algún tipo de molestia: (2) que la curva tiempo volumen no indique cambios en el volumen (0.025 L) por  $\geq 1$  segundo, y no pueda exhalar por  $\geq 3$  segundos en niños menores de 10 años, y por  $\geq 6$  segundos en sujetos mayores de 10 años.

El alcanzar los criterios de terminación de la prueba es un parámetro de aceptabilidad de la maniobra; aquellas maniobras que no llenan estos criterios no se consideran como validas, y no deben de utilizarse para la contabilización del requerimiento mínimo de 3 maniobras aceptadas.

### **3.5.3. Criterios para la aceptación de cada maniobra <sup>(86, 89)</sup>**

Los criterios de aceptación son un inicio satisfactorio de la prueba, y una terminación de la prueba también satisfactoria (lograr la meseta en la curva tiempo-volumen) y también deben de reunir los siguientes siete requisitos para obtener una curva de medición aceptable:

- No tener un inicio de espiración satisfactorio, caracterizado por un inicio vacilante o en falso con un volumen extrapolado de  $>5\%$  de la CVF o 0.150 L, o el que sea mayor
- No toser durante el primer segundo de la maniobra, o cuando el técnico considere que la tos afectaría el resultado de la prueba
- No tener un final temprano de la espiración
- No efectuar una maniobra de valsalva por el cierre de glotis, o cursar con titubeos durante la maniobra que provoque una obstrucción al flujo del aire, que impediría la medición adecuada del  $VEF_1$ , o CVF
- Sin fugas del aire exhalado
- Sin obstrucción del flujo de aire en el dispositivo oral
- Sin evidencia de una inspiración adicional durante la maniobra

#### **3.5.4. Criterios de aceptación entre cada maniobra** <sup>(86, 89)</sup>

Utilizando los criterios anteriores una espirometría adecuada requiere un mínimo de tres maniobras aceptables de CVF, considerándose una aceptable repetitividad cuando se obtiene:

- cuando la diferencia entre la mayor CVF y la siguiente mayor CVF es  $\leq 0.150$  L,
- la diferencia entre la el mayor  $VEF_1$  y el siguiente mayor  $VEF_1$  es  $\leq 0.150$  L.
- Si ambos criterios se cumplen se finaliza la prueba.
- Si ambos criterios no se cumplen continuar con la prueba hasta que se cumpla en criterio anterior o cuando se hayan efectuado un total de 8 maniobras, o el paciente no pueda o no deba continuar.
- Se deben de registrar las 3 mejores maniobras.

### **3.5.5. Interpretación de la espirometría** <sup>(86, 89, 93)</sup>

La interpretación de los resultados obtenidos con la espirometría utilizados tanto para fines clínicos como epidemiológicos, debe de involucrar:

- La clasificación de los valores obtenidos con relación a una población de referencia, y la confiabilidad de los datos (procedimiento para la interpretación, y valores de referencia apropiados)
- Integración de los valores espirométricos en el diagnóstico, terapéutica y pronóstico para cada paciente en lo individual

Por lo que no existe una guía específica para el procedimiento de interpretación de resultados espirométricos que pueda recomendarse para todos los laboratorios o centros en donde se efectúen estos estudios, sino que cada laboratorio o centro deberá tener su método de interpretación específico o individual que deberá de ser consistente para evitar o minimizar errores de interpretación de los resultados.<sup>(86)</sup>

#### 4. JUSTIFICACION

La alta contaminación del aire de la ciudad de Mexicali, Baja California, es evidente y es debido principalmente a partículas PM10, O<sub>3</sub>, CO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, contaminación que la ha llevado a ocupar el primer sitio dentro de las 9 ciudades metropolitanas monitoreadas de 1997 al 2005, por el Instituto Nacional de Ecología (INE). Todos ellos generados en forma primordial por la combustión de hidrocarburos, tanto de los vehículos en malas condiciones mecánicas, como de la combustión de origen industrial y agrícola; así como la falta de urbanización de vialidades (pavimentación), tanto urbanas como sub-urbanas, entre otras fuentes.

Está comprobado el efecto nocivo de estos contaminantes del aire en la salud de los individuos expuestos, sin embargo no existen datos en la ciudad de Mexicali, Baja California, México, considerada como una de las 3 ciudades de éste país con mayores índices de contaminación atmosférica, que nos indiquen el impacto en la vía respiratoria baja. Para conocer tal impacto, se usarán las pruebas de espirometría de volumen espiratorio forzado en 1 segundo (FEV<sub>1</sub>) y la capacidad vital forzada (CVF) en la población escolar de 9 a 12 años de edad que está expuesta crónicamente a los contaminantes PM10 y O<sub>3</sub>.

## **5. HIPOTESIS**

Hipótesis Nula:

- 1.- El PM10 presente en el aire de la ciudad de Mexicali, Baja California, no disminuye de manera significativa la función pulmonar de escolares sanos de entre 9 a 12 años de edad.
- 2.- Los niveles de O<sub>3</sub> presentes en el aire de la ciudad de Mexicali, Baja California, no disminuyen de manera significativa la función pulmonar en escolares sanos de entre 9 a 12 años de edad.

Hipótesis Alterna:

- 1.- El PM10 presente en el aire de la Ciudad de Mexicali, Baja California, disminuye de manera significativa la Función Pulmonar de escolares sanos de entre 9 a 12 años de edad.
- 2.- Los niveles de O<sub>3</sub> presentes en el aire de la ciudad de Mexicali, Baja California, disminuyen de manera significativa la función pulmonar en escolares sanos de entre 9 a 12 años de edad.

## **6. OBJETIVO GENERAL**

El objetivo principal es determinar si la contaminación ambiental por O<sub>3</sub> y/o por PM<sub>10</sub>, disminuye de manera significativa la función pulmonar (VEF1 y CVF) de los escolares sanos de 9 a 12 años de edad, que viven y estudian en zona urbana de la ciudad de Mexicali, Baja California.

### **6.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- medir el tamaño y la significancia estadística del efecto sobre el VEF1 en los escolares muestra, cuando se exponen a la contaminación por PM<sub>10</sub> y por O<sub>3</sub> en invierno.
- medir el tamaño y la significancia estadística del efecto sobre el CVF en los escolares muestra, cuando se exponen a la contaminación por PM<sub>10</sub> y por O<sub>3</sub> en verano.
- Comparar entre invierno y verano el tamaño y la significancia estadística del efecto de los contaminantes sobre el VEF1 y CVF en los escolares muestra.

## 7. DISEÑO Y CALIDAD DE LOS DATOS

Estudio de Cohorte, Prospectivo, Ecológico, Longitudinal, Descriptivo, Comparativo.

- **Definición del Universo:** El universo de selección de la muestra fueron los individuos de ambos sexos, de 9 y 12 años de edad que residían y asistían a escuelas públicas o privadas de educación primaria, que se encuentran ubicadas en un radio de cobertura menor o igual a los 4 km alrededor de alguna estación de monitoreo ambiental fija, localizada en una zona urbana de la ciudad de Mexicali, B.C.
- **Muestra:** Se seleccionó en forma aleatoria un grupo de individuos, que cumplieron con los criterios de inclusión y exclusión establecidos.
- **Criterios de Inclusión:**
  - Individuos de ambos sexos
  - 9 a 12 años de edad
  - Que acudían a escuelas públicas o privadas dentro del radio de 4 Km de cobertura de la estación de monitoreo ambiental fija, localizada en una zona urbana, específicamente la ubicada en el Instituto de Ingeniería, en el campus de la UABC.
  - Que el tiempo de residir y estudiar en esa zona, no fuera menor a los 5 años previos a la fecha de haber iniciado los estudios en la misma zona.
- **Criterios de Exclusión:**
  - Que padecieran alguna enfermedad pulmonar crónica.
  - Que padecieran alguna patología que les impidiera efectuar los estudios de espirometría, o que influyeran en los resultados de las mediciones de la espirometría.
  - Que se estuvieran utilizando broncodilatadores o glucocorticoides al momento de efectuar los registros espirométricos.
  - Que cursasen con alguna enfermedad respiratoria aguda al momento de efectuar las mediciones de la espirometría.

- **Criterios de Eliminación:**

- A los individuos que por alguna razón justificada o no, suspendieran o no acudieran a una de las mediciones espirométricas.
- A quienes cambiaran de domicilio de residencia y/o de escuela a otras zonas de la ciudad alejadas (más allá del radio de cobertura de los 4 Km) del centro de monitoreo de contaminación del aire urbano (*i.e.*, UABC), antes señalado.
- A los individuos que durante el desarrollo del estudio se les diagnosticara alguna patología respiratoria que pudiera modificar el resultado de las mediciones espirométricas.
- A los individuos que durante el desarrollo del estudio se le diagnosticara alguna patología no respiratoria que pudiera modificar el resultado de las mediciones espirométricas
- A quienes voluntariamente no desearan continuar en el estudio.

### **7.1. Método de Selección de la Muestra:**

La muestra se tomó de la selección aleatoria obtenida del registro oficial de escuelas primarias públicas y privadas del Instituto de Servicios Educativos y Pedagógicos del estado de Baja California (ISEP), que se localizaran en el área cercana, no más allá de 4 Km, de la estación de monitoreo ambiental urbano denominado UABC. De los planteles educativos seleccionados, se acudió a sus registros de alumnado para seleccionar a aquellos alumnos que asistían a clases y que tuvieran 9 a 12 años de edad, de ambos sexos. Se incluyeron el número de escuelas necesarias hasta obtener el valor total de la muestra a estudiar.

El número de individuos que conformaron la muestra fue de 258, este número es el resultado de la aplicación de la prueba estadística de desigualdad por una proporción, calculada en la base de una potencia estadística del 80%, con una significancia del 95%.

## 8. VARIABLES

### a).- Variables Independientes:

Dos meteorológicas: humedad relativa promedio ambiente (Hr) y temperatura promedio ambiente (T).

Cuatro variables demográficas: edad, peso, talla, índice de masa corporal (IMC).

Dos contaminantes del aire de Mexicali, Baja California: O<sub>3</sub> y PM10.

### b).- Variable Dependiente:

Pruebas de Función Pulmonar: VEF<sub>1</sub> y CVF.

### 8.1. Operacionalización de las Variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADOR	ESCALA DE MEDICION
Contaminación del aire de Mexicali Baja California: PM10 y Ozono	Hace referencia “a la alteración de la atmósfera terrestre por la adición de gases, partículas sólidas o líquidas en suspensión, en proporciones distintas a las naturales”, y se aplica por lo general a las alteraciones que tiene efecto sobre la salud de los seres vivos y a los elementos materiales y no a otras alteraciones inocuas.  Ozono (O <sub>3</sub> ): Es un gas incoloro e inodoro que se produce y reacciona por efecto de la luz	Las mediciones de las variables O <sub>3</sub> y PM10 se obtendrán de una (i.e.,UABC) de las seis estaciones de monitoreo ambiental fijas, que se encuentran instaladas en distintos puntos de la ciudad de Mexicali, baja California, que son operadas de manera coordinada entre la Secretaría de Protección al Ambiente y por la Comisión para los Recursos del	OZONO (O <sub>3</sub> ): >0.08 ppm (Promedio de 1 hr)  PM10: >150 µgr/m <sup>3</sup> (promedio de 24 hs)	Escalar Discreta

	<p>solar sobre contaminantes precursores como Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>), y los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV<sub>s</sub>).</p> <p>PM10: Son partículas de material micro-fragmentado con diámetros menores a los 10 micrómetros. Pueden ser de origen líquido o sólido (ej. polvo, cenizas, pólenes, fragmentos metálicos, cemento, insecticidas) que se dispersan en la atmósfera, suelen estar compuestos de materiales inorgánicos (silicatos, aluminatos, plomo) y orgánicos (carbono, polen, insecticidas), son emitidas a la atmósfera por actividades de tipo antropomórfico o natural.</p>	Aire de California (CARB).		
<p>Dos variables meteorológicas: temperatura ambiente promedio superficial y Humedad relativa ambiente promedio superficial</p>	<p>Se refiere a toda propiedad o condición de la atmósfera, cuyo conjunto define el estado físico del tiempo del clima de un lugar determinado, para un</p>			

	<p>momento o un periodo de tiempo dados, es un elemento meteorológico que se puede considerar una variable.</p> <p>Temperatura ambiente promedio se refiere a la temperatura del aire como el valor que marca un termómetro en periodos de 24 horas que está expuesto al aire y protegido de la radiación solar</p> <p>Humedad relativa ambiental promedio es la humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica. El instrumento que se usa normalmente para medirla es un termohigrógrafo promedio se refiere a la lectura tomada en promedios de 24 horas</p>			
--	---	--	--	--

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFICINION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADOR	ESCALA
Pruebas de Función Pulmonar o Espirometría para medición de VEF <sub>1</sub> y CVF.	<p>ATS: Espirometría es una prueba fisiológica que mide como un individuo inhala o exhala volúmenes de aire en función del tiempo.</p> <p>VEF<sub>1</sub>: Volumen de aire espirado en el primer Segundo de una exhalación forzada.</p> <p>CVF: Volumen total de aire en los pulmones después de una inspiración forzada.</p>	<p>Se efectuarán las mediciones o registros de VEF<sub>1</sub> y de CVF utilizando equipos de espirometría portátil computarizados que contengan las tablas de valores normales para pacientes pediátricos, avalados por la <i>American Thorax Association</i> (ATS).</p> <p>Se efectuarán tres mediciones a todos los individuos de cada muestra, una durante el periodo de menos contaminación, otra en el periodo de mayor contaminación para cada contaminante</p>	<p>Los registros menores al 15% del valor predicho de VEF<sub>1</sub> para determinar la presencia de obstrucción pulmonar, de acuerdo a valores predichos por la escala de valores de la función pulmonar en niños y adolescentes establecida por la ATS. Se sacará la proporción de la relación VEF<sub>1</sub>/CVF, que junto con el valor de CVF nos servirán para determina</p>	<p>Escala discreta</p>

			r la presencia de obstrucci ón o restricció n de la función pulmonar.	
--	--	--	---	--

## 9. MATERIALES Y METODOS

Mexicali está localizado al norte  $32^{\circ} 43'$ , al sur  $30^{\circ} 52'$  de latitud norte, al este  $114^{\circ} 42'$ , y al oeste  $115^{\circ} 56'$  de longitud oeste, y se encuentra dentro de la región del valle de Colorado. Colinda al norte con Estados Unidos de América; al este con Estados Unidos de América, el estado de Sonora y el Golfo de California; al sur con el Golfo de California y el municipio de Ensenada; al oeste con los municipios de Ensenada, Tecate y con Estados Unidos de América. Es la capital del estado del noroeste mexicano de Baja California, con 856,000 habitantes. Su extensión territorial es de  $13,700 \text{ km}^2$ , y representa el 21.1% de la superficie del estado, y el 0.7% de la superficie del país. Se encuentra dividido en 14 delegaciones municipales; tiene 3 regiones geográficas que son: valle, costa y urbana, integrada ésta última por la cabecera municipal, que es Mexicali y la conurbada de las delegaciones González Ortega, Cerro Prieto y Progreso. Debido a su ubicación en el desierto, el clima predominante en más del 90% de la extensión territorial es muy seco y varía del muy cálido al cálido templado, posee extensas regiones sin vegetación, y tiene condiciones climatológicas extremas, la temperatura cae por debajo de los  $0^{\circ}\text{C}$  durante el periodo de invierno, y sobrepasa los  $50^{\circ}\text{C}$  en la época de verano. Su precipitación pluvial es baja ( $<100 \text{ mm/año}$ ), y los vientos alcanzan una velocidad de  $55 \text{ km/h}$  en la época de invierno. La principal causa de morbilidad por enfermedades transmisibles son las infecciones respiratorias agudas, y de las no transmisibles la hipertensión arterial, asma, diabetes mellitus, enfermedad isquémica del corazón. Las enfermedades cerebro-vasculares se ubican en los primeros lugares. Dentro de las causas de mortalidad, después de las muertes violentas se encuentra como principal causa la bronquitis crónica y la no especificada, enfisema y asma (fuente: INEGI. CIE10: Tumor maligno de la tráquea, de los bronquios y del pulmón, 2007).

Las características geográficas referidas, aunado a la gran cantidad de calles y caminos no pavimentados (45% aproximadamente) y de lotes de terreno abandonados dispersos por la ciudad (2,846 Has.), hacen que las emisiones de partículas de material geológico sean muy elevadas.

Se planteó establecer la relación matemática multivariante entre el conjunto de variables independientes covariantes (*i.e.*, variables meteorológicas, demográficas, y contaminantes atmosféricas), y dos variables dependientes (*i.e.*, VEF1 y CVF) para dos temporadas del año (*i.e.*, invierno y verano). Para ello, se definió primero el universo de donde se obtuvieron tanto

las variables independientes como las variables dependientes. Luego, mediante análisis de regresión lineal múltiple se cuantificó la relación entre las variables independientes y las variables dependientes

### **9.1. Universo**

En enero del 2009, a 300 escolares de ambos sexos de entre 9 y 12 años de edad seleccionados al azar de tres distintas escuelas primarias públicas (ver figura 1) se les aplicó un cuestionario (ver anexo 1), el cual fue extraído con base a el Cuestionario Estandarizado para Síntomas Respiratorios del Consejo Británico de Investigación Médica, avalado por la ATS (1996). Se les pidió a los padres o tutores de los participantes ayudaran a sus hijos a contestar el cuestionario y firmaran el consentimiento informado (ver anexo 2).

Las escuelas primarias se encuentran ubicadas dentro de un radio no mayor a los 4 km respecto a la estación de monitoreo ambiental fija que se localiza en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) en Mexicali, B. C., México, cuyas coordenadas en grados, minutos y segundos son Norte 32,37,51.8; Oeste 115,26 41.2 (ver figura 1). Las escuelas son: (1) Salvador Jiménez con ubicación Norte 32,37,51.0 y Oeste 115,26,41.5, (2) Héroes de Independencia con ubicación Norte 32,38,16.3 y Oeste 115,25,56.2, y (3) Francisco Sarabia con ubicación Norte 32,37,47.3 y Oeste 115,25,52.8. Las coordenadas fueron tomadas con el GPS “Garmin eTrex Legend”. Las distancias en kilómetros (km) de cada escuela primaria respecto a la UABC se muestran en la figura 5.

### **9.2. Selección de la Muestra**

Después de estudiar los cuestionarios bajo los criterios de exclusión e inclusión establecidos (ver apartado “Diseño y Calidad de los Datos”), y en congruencia con el estudio de potencia estadística (ver apartado “Cálculo del Tamaño de la Muestra”), se procedió a seleccionar una muestra de tamaño no menor a los 250 individuos (N=258), para lograr una potencia estadística no menor del 80% con un tamaño del efecto no menor al 1.6% (ver figura 6) A todos los individuos que componen la muestra se les midió el VEF1 y el CVF bajo el procedimiento establecido y estandarizado por la ATS/ERS<sup>(59,63)</sup> para niveles de contaminación de ozono y PM10 durante la estación de invierno y primavera. Las mediciones ante bajos y altos niveles de contaminación de O3 y PM10, se realizaron en los planteles educativos durante las estaciones del año (*i.e.*, invierno y primavera), que por monitoreo aéreo

reportaron las estaciones de monitoreo ambiental fijas establecidas en la ciudad como de baja y alta contaminación respectivamente (ver tabla I, figura 1 y figura 7).

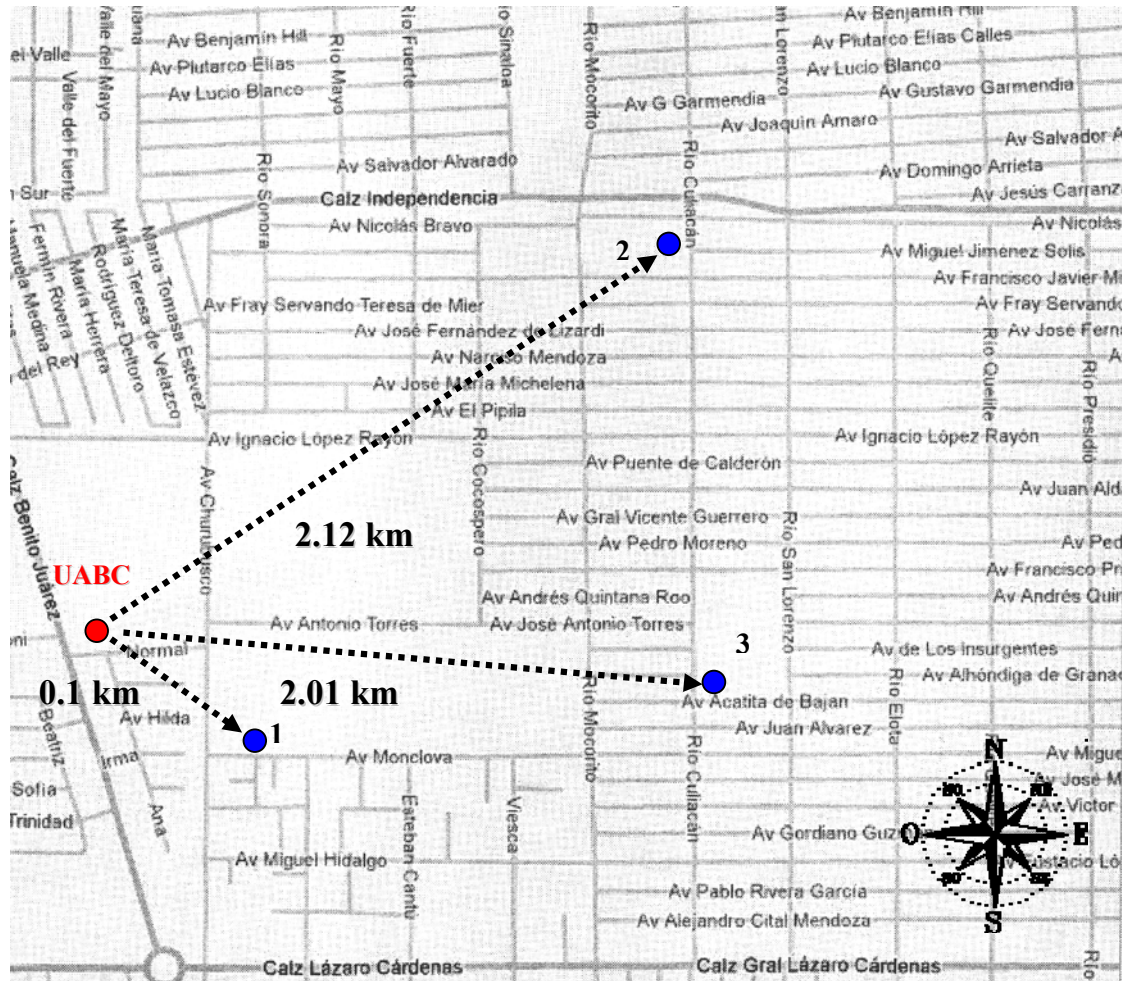


Figura 5. Mapa donde se muestra la ubicación de la estación de monitoreo ambiental y la ubicación de las escuelas primarias públicas de donde se extrajo la muestra. UABC = Universidad Autónoma de Baja California. 1 = Escuela Salvador Jiménez. 2 = Escuela Héroes de Independencia. 3 = Escuela Francisco Sarabia. Todas las escuelas se encuentran dentro de un radio menor a los 4km respecto a la estación de monitoreo ambiental.

### 9.3. Cálculo del Tamaño de la Muestra

Las hipótesis nulas que se plantearon fueron contrastadas con las alternativas. Las pruebas de contraste de hipótesis o de significación estadística calcularon la probabilidad de que los resultados obtenidos en esta investigación, pudieran ser debidos al azar en el supuesto de que no existieran diferencias entre los grupos que se analizaron.

Para detectar las diferencias estadísticamente significativas o las asociaciones de las magnitudes determinadas, se utilizó el concepto de poder o potencia estadística la cual representa la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es realmente falsa.

Para el cálculo de la potencia estadística se determinó primero lo siguiente:

- Tamaño del efecto.- la magnitud mínima de la diferencia o asociación entre los grupos que se considera clínicamente relevante. Cuanto mayor sea la diferencia (tamaño del efecto), mayor será la potencia estadística del estudio. En este proyecto se planteó encontrar como mínimo un efecto del 1.6% del contaminante sobre el VEF1 y sobre el CVF, entre ambas estaciones del año.
- Variabilidad de la respuesta a estudiar.- cuanto mayor sea la variabilidad en la respuesta, más difícil será detectar diferencias entre los grupos; esto produciría una disminución en la potencia estadística. La variabilidad disminuye cuando la homogeneidad de los grupos es alta. Se redujo esa variabilidad mediante la aplicación de una encuesta validada por la ATS para caracterizar a la muestra y garantizar la mayor posible homogeneidad (ver apartado “Diseño y Calidad de los Datos).
- Nivel de significación estadística.- Si se reduce el valor  $\alpha$  también disminuye el poder de la prueba. Se encontró un punto de equilibrio con una significancia del 95%, es decir una  $\alpha = 0.05\%$ . Por lo que el equilibrio se encontró entre el tamaño de la muestra que es posible estudiar y el poder que se quiere para el estudio. Un poder estadístico del 80 al 90% es suficiente para garantizar que la mayoría de las diferencias encontradas en el estudio no serán debidas al azar.(ver figura 6)

El análisis del poder estadístico de esta investigación, considera definitivamente la capacidad del estudio para encontrar diferencias si es que realmente las hay, paso fundamental tanto en la fase del diseño como en la interpretación y discusión de los resultados que arroje el estudio. En el momento del diseño de esta investigación, se ha establecido la magnitud mínima de la diferencia o asociación que es de relevancia clínica, así como el poder estadístico que se desea para el estudio y, de acuerdo con ello, se realizó el cálculo del tamaño de la muestra necesaria.

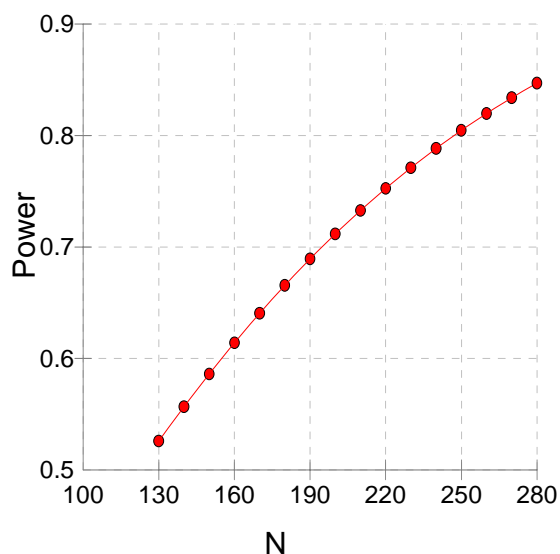


Figura 6.- Gráfica que muestra la potencia estadística que se obtiene al utilizar una muestra de tamaño  $N=258$ , para un tamaño efecto de 1.6 %.

Una vez calculado el tamaño de la muestra, se formó el grupo de personas con características similares. Estas personas fueron extraídas de la zona urbana donde estudiaban y habitaban, dentro del radio de cobertura de la estación de monitoreo ambiental fija llamada UABC (*i.e.*, radio de 4 Km).

Antes de seleccionar la muestra, se aplicó un cuestionario validado por la ATS que permitió homogenizarla lo mejor posible.(anexo 2)

A todos los individuos que constituyeron el grupo muestra se les midió el VEF1 y el CVF siguiendo el procedimiento establecido y estandarizado por la ATS/ERS<sup>(59,63)</sup>, con el objeto de conocer el efecto que produce la contaminación de O<sub>3</sub> y PM10 durante las estaciones de invierno y verano. Las mediciones ante bajos y altos niveles de contaminación de O<sub>3</sub> y PM10, se realizaron en los planteles educativos durante las estaciones del año (*i.e.*, invierno y verano), que por monitoreo aéreo reportaron las estaciones de monitoreo ambiental fijas establecidas en la ciudad como de baja y alta contaminación respectivamente (ver figura 7).

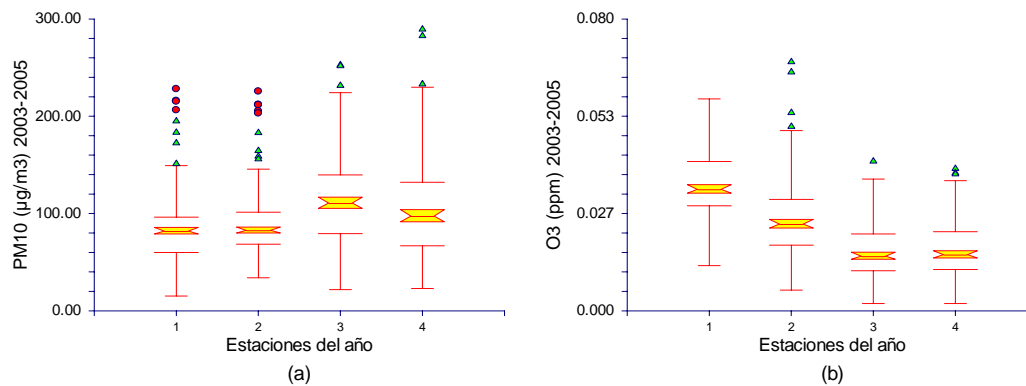


Figura 7.- Niveles de contaminación por estaciones del año. (a) PM10 y (b) O3. 1=primavera, 2=verano, 3=otoño, 4=invierno.

#### 9.4. Variables dependientes

A los escolares muestra (N=258) se les midió el Volumen Espiratorio Forzado en un segundo (VEF<sub>1</sub>) medido en litros (L) y la Capacidad Vital Forzada (CVF) medida también en litros (L) siguiendo el procedimiento recomendado por ATS/ERS. Se registró la fecha y hora del momento en el que se realizó la prueba espirométrica a cada individuo.

Para realizar las mediciones del VEF<sub>1</sub> y CVF se utilizó el Espirómetro tipo neumotacómetro computarizado Multispiro-SX/PC de la casa Multispiro, inc. El cual cumple con los requerimientos establecidos en el protocolo de reglamentación y estandarización indicados por la ATS/ERS.

Estas mediciones se realizaron tanto en la temporada de invierno (febrero-marzo del 2009) como en la temporada de verano (mayo del 2009).

#### 9.5. Variables Independientes

Variables Demográficas:

A los escolares muestra además se les midió la talla en metros (m) y el peso en kilogramos (kg), luego se calculó el Índice de Masa Corporal (IMC) con la ecuación:

$$IMC = \frac{peso}{Talla^2}$$

Las mediciones de estas variables se realizaron una sola vez durante el muestreo de invierno.

#### 9.6. Variables Meteorológicas:

Los datos de temperatura ambiente (T) medida en grados centígrados (°C) y de humedad relativa (Hr) medida en porcentajes (%), fueron proporcionados por el Área de Meteorología

del Instituto de Ingeniería de la UABC. Para estas variables se calcularon promedios de 4 hs, 8 hs, 16hs, 24 hs, y 48 hs a partir de la fecha y hora que mostraron los registros de las pruebas espirométricas realizadas a cada sujeto.

### 9.7. Variables de Contaminación Atmosférica:

Tanto los datos de material microfraccionado de diámetro aerodinámico menor a los diez micrómetros ( $PM_{10}$ ) medido en microgramos por metro cúbico de aire ( $\mu g/m^3$ ), como los datos del ozono ( $O_3$ ) medido en partes por millón (ppm), fueron cedidos por la Secretaría de Protección al Ambiente del Gobierno del Estado de Baja California. Estos datos fueron registrados por la estación de monitoreo ambiental que se encuentra localizada en el Instituto de Ingeniería de la UABC (ver figura 5). Al igual que para las variables meteorológicas, se calcularon promedios de 4 hs, 8 hs, 16hs, 24 hs, y 48 hs a partir de la fecha y hora que mostraron los registros de las pruebas espirométricas realizadas a cada sujeto.

### 9.8. Modelo Explicativo

Para determinar de qué manera afectan el  $O_3$  y el  $PM_{10}$  al  $VEF_1$  y al CVF en los escolares-muestra tanto en la temporada invernal como en la temporada cálida de Mexicali, se construyeron modelos explicativos basados en la regresión lineal múltiple; para nuestro caso estaremos hablando de modelos explicativos de regresión lineal multicontaminante, cuyas ecuaciones se plantean y describen a continuación:

$$VEF_1 = \beta_0 + \beta_1 Temp + \beta_2 Hr + \beta_3 Edad + \beta_4 Peso + \beta_5 Talla + \beta_6 IMC + \beta_7 PM_{10} + \beta_8 O_3 + e \quad (1)$$

$$CVF = \beta_0 + \beta_1 Temp + \beta_2 Hr + \beta_3 Edad + \beta_4 Peso + \beta_5 Talla + \beta_6 IMC + \beta_7 PM_{10} + \beta_8 O_3 + e \quad (2)$$

en donde:

$VEF_1$  es el volumen espiratorio forzado en un segundo tomado de los escolares muestra

$CVF$  es la capacidad vital forzada tomada de los escolares muestra

$\beta_0$  es el intercepto

$\beta_i$  son los coeficientes asociados a cada una de las variables independientes de:

$T$  temperatura ambiente promedio de la ciudad de Mexicali

$Hr$  humedad relativa promedio de la ciudad de Mexicali

$Edad$  edad de los escolares muestra

$Peso$  peso de los escolares muestra

$Talla$  estatura de los escolares muestra

$IMC$  índice de masa corporal calculada con el peso y la talla al cuadrado (ver ecn. (1))

$PM_{10}$	materia microfraccionada con diámetro aerodinámico menor a diez micrómetros, contaminante promedio presente en la atmósfera de Mexicali
$O_3$	Ozono, contaminante promedio presente en la atmósfera de Mexicali
$e$	error o residual del modelo

Los efectos de los contaminantes sobre el VEF<sub>1</sub> y CVF fueron estimados en cada una de las temporadas señaladas (*i.e.*, invierno y verano), para cada uno de los promedios de las variables meteorológicas y de contaminación mencionadas (*i.e.*, 4, 8, 16, 24 y 48 hs) (ver tabla II). Esto implicó encontrar una ecuación (modelo) que explicara los efectos de los contaminantes en el VEF<sub>1</sub> (ver ecn 1) y otra ecuación que midiera los efectos de los mismos contaminantes en el CVF (ver ecn 2) para ambas temporadas, la invernal y la cálida. Esto hizo un total de cuatro ecuaciones (modelos): dos explican los efectos de los contaminantes sobre el VEF<sub>1</sub> en la temporada gélida (primer muestreo) y otras dos explican los efectos de los contaminantes sobre el CVF para la temporada cálida (segundo muestreo).

Se buscó que las estimaciones de los coeficientes de las ecuaciones fueran lo más precisas posible y que los modelos cumplieran con el principio de parsimonia.

En la realización de las mediciones del VEF<sub>1</sub> y CVF se utilizó el espirómetro tipo neumotacómetro computarizado *Multispiro-SX/PC* de la casa *Multispiro, inc.* El cual cumple con los requerimientos establecidos en el protocolo de reglamentación y estandarización establecidos por la ATS/ERS.

Los datos obtenidos de todas las mediciones, tanto los arrojados por la encuesta, por la estación de monitoreo ambiental fija, como los datos de las medidas tomadas del VEF<sub>1</sub> y del CVF, fueron capturados y organizadas en hojas electrónicas utilizando el sistema NCSS versión 2008. Las bases de datos fueron analizadas con estadística descriptiva e inferencial y se determinó la significancia estadística de las diferencias encontradas para cada una de las pruebas de la función respiratoria ante los efectos de la contaminación atmosférica entre cada muestreo (*i.e.*, invierno y verano).

## **10. RESULTADOS**

### **10.1. Características de la Muestra Estudiada**

La tabla II muestra las características que presenta la muestra bajo estudio. Se compone de 258 escolares que estudian en alguna de las tres escuelas primarias públicas seleccionadas (ver figura 5). Son 82 (31.78 %) sujetos de la escuela 1 con 32 (39.02%) hombres y 50 (60.98%) mujeres, 61 (23.64 %) de la escuela 2 con 30 (49.18 %) hombres y 31 (50.82 %) mujeres, y 115 (44.57 %) de la escuela 3 con 58 (50.43 %) hombres y 57 (49.57 %) mujeres. En el tiempo del inicio del muestreo, 37 (14.34 %) individuos tenían 9 años de edad, de los cuales 21 (56.76 %) son hombres y 16 (43.24 %) son mujeres. 104 (40.31 %) tenían 10 años, 51 (49.04 %) hombres y 53 (50.96 %) mujeres. 110 (42.64 %) tenían 11 años, 46 (41.82 %) hombres y 64 (58.18 %) mujeres. 7 (2.71 %) habían recientemente cumplido 12 años de edad, 2 (28.57 %) hombres y 5 (71.43 %) mujeres. 8 (3.1 %) de los escolares viven o vivían en esos momentos en casas de madera, 4 (50 %) hombres y 4 (50 %) mujeres. 245 (94.96 %) habitaban casas de ladrillo o bloque, 113 (46.12 %) hombres y 132 (53.88 %) mujeres. 4 (1.55 %) ocupan viviendas de adobe, 3 (75 %) hombres y 1 (25 %) mujeres. Solamente una persona (0.39 %) del género femenino declaró vivir en otro tipo de vivienda distinta a las señaladas. 257 (99.61 %) de las casas habitadas por los escolares contaban con piso de concreto, 119 (46.3 %) ocupadas por hombres y 138 (53.7 %) por mujeres; únicamente una persona (0.39 %) del género masculino declaró habitar casa con piso de tierra. En 255 (98.84 %) casas usan gas para cocinar, 120 (47.06 %) las habitan hombres y 135 (52.94 %) las habitan mujeres. En 2 (0.78 %) hogares habitados por mujeres se cocina con electricidad y en una (0.39 %) casa habitada por mujer se cocina con aceite o keroseno. 62 (48.44 %) escolares del género masculino y 66 (51.56 %) del femenino mencionaron que sus casas son enfriadas con aparatos de aire acondicionado (A/C), esto hace un total de 128 (49.61 %) casas. 1 (25 %) escolar hombre y 3 (75 %) mujeres dijeron vivir en casas enfriadas por “cooler”, es decir 4 (1.55 %) viviendas usan este sistema de enfriamiento. 4 (100 %) mujeres y ningún varón viven en casas enfriadas por ventilador. 106 (41.09 %) habitaciones combinan A/C y ventilador, 45 (42.45 %) son habitadas por escolares hombres y 61 (57.55 %) por mujeres. La combinación de A/C y “cooler” la utilizan 14 (5.43 %) casas ocupadas por 7 (50 %) varones y 7 (50 %) mujeres. Una escolar (0.39 %) mujer declaró vivir en casa enfriada por A/C con filtro de aire y un escolar (0.39 %) hombre dijo no tener ningún tipo de enfriamiento en su casa. 14 (5.43 %)

Tabla II. Características de la Población Estudiada

Variable	Género		Total	
	Masculino n (%)	Femenino n (%)		
<b>Escuela</b>	1	32 (39.02)	50 (60.98)	82 (31.78)
	2	30 (49.18)	31 (50.82)	61 (23.64)
	3	58 (50.43)	57 (49.57)	115 (44.57)
<b>Edad</b>	9	21 (56.76)	16 (43.24)	37 (14.34)
	10	51 (49.04)	53 (50.96)	104 (40.31)
	11	46 (41.82)	64 (58.18)	110 (42.64)
	12	2 (28.57)	5 (71.43)	7 (2.71)
<b>Tipo de Vivienda</b>	Madera	4 (50)	4 (50)	8 (3.1)
	Ladrillo o Bloque	113 (46.12)	132 (53.88)	245 (94.96)
	Adobe	3 (75)	1 (25)	4 (1.55)
	Otro	0	1 (100)	1 (0.39)
<b>Tipo de Piso de la Vivienda</b>	Concreto	119 (46.3)	138 (53.7)	257 (99.61)
	Tierra	1 (100)	0	1 (0.39)
	Otro	0	0	0
<b>Combustible usado para Cocinar</b>	Carbón	0	0	0
	Leña	0	0	0
	Gas	120 (47.06)	135 (52.94)	255 (98.84)
	Electricidad	0	2 (100)	2 (0.78)
	Aceite o Keroseno	0	1 (100)	1 (0.39)
<b>Modo de Enfriamiento</b>	Ninguno	1 (100)	0	1 (0.39)
	Aire acondicionado (A/C)	62 (48.44)	66 (51.56)	128 (49.61)
	Cooler	1 (25)	3 (75)	4 (1.55)
	Ventilador	4 (100)	0	4 (1.55)
	Filtro de aire (FA)	0	0	0
	A/C + Ventilador	45 (42.45)	61 (57.55)	106 (41.09)
	A/C + Cooler	7 (50)	7 (50)	14 (5.43)
	A/C + Filtro de aire	0	1 (100)	1 (0.39)
	Ventilador + Filtro de aire	0	0	0
	A/C + Cooler + FA	0	0	0
<b>Tipo de Calefacción</b>	Vapor o Agua caliente	5 (35.71)	9 (64.29)	14 (5.43)
	Calentón eléctrico	29 (51.79)	27 (48.21)	56 (21.71)
	Calentón de gas	7 (31.82)	15 (68.18)	22 (8.53)
	Calentón de petróleo	0	0	0
	Horno	0	0	0
	Otro	0	0	0
	No tiene	79 (47.59)	87 (52.41)	166 (64.34)
<b>Fumador Pasivo</b>	Sí	4 (44.44)	5 (55.56)	9 (3.49)
	No	116 (46.59)	133 (53.41)	249 (96.51)
<b>Mascotas</b>	Sí	80 (47.62)	88 (52.38)	168 (65.12)
	No	40 (44.44)	50 (55.56)	90 (34.88)

A/C = Aire Acondicionado

Escuela 1 = Salvador Jiménez

Escuela 2 = Héroe de Independencia

Escuela 3 = Francisco Sarabia

casas son calentadas con vapor o agua caliente, 5 (35.71 %) de ellas habitadas por escolares varones y 9 (64.29 %) habitadas por mujeres.

El calentón eléctrico se usa en 56 (21.71%) de las casas, 29 (51.79 %) de ellas ocupadas por hombres y 27 (48.21 %) por mujeres. El calentón de gas lo utilizan en 7 (31.82 %) viviendas habitadas por escolares hombres y en 15 (68.18 %) habitadas por escolares mujeres, esto hace un total de 22 (8.53 %) casas que utilizan este sistema de calefacción. 79 (47.59 %) escolares varones y 87 (52.41 %) del género femenino dijeron no contar con ningún sistema para calentar sus viviendas. 9 (3.49 %) escolares están expuestos a humos de cigarrillo en el interior de sus hogares, 4 (44.44 %) hombres y 5 (55.56 %) mujeres; 249 (96.51 %) no lo están, 116 (46.59 %) hombres y 133 (53.41 %) mujeres. 168 (65.12 %) escolares tienen contacto con mascotas, 80 (47.62 %) son hombres y 88 (52.38 %) son mujeres. 90 escolares (34.88 %) no tienen ningún tipo de mascotas en sus casas, 40 (44.44 %) son hombres y 50 (55.56 %) son mujeres.

## **10.2. Medidas de tendencia Central, Dispersión y Diferencias de Medias.**

La tabla III muestra las medidas de tendencia central y de dispersión de los datos de las pruebas espirométricas (*i.e.*, variables dependientes VEF1 y CVF) realizadas a los escolares muestra, de los datos meteorológicos (*i.e.*, variables independientes de T y Hr), y de los datos de contaminación atmosférica (*i.e.*, variables independientes de PM10 y O3), para las dos temporadas muestreadas (*i.e.*, Invierno y Verano). Tanto el VEF1 como el CVF se notan ligeramente mayores en la temporada de verano comparadas con la temporada de frío. Estas diferencias resultaron ser estadísticamente significativas ( $t = -2.86$ ;  $p = 0.005$ ) y ( $t = -3$ ;  $p = 0.003$ ) respectivamente. La temperatura también mostró diferencias estadísticamente significativas ( $t = -40.04$ ;  $p < 0.0001$ ). La Hr no tuvo diferencias sgnificativas ( $t = 0.9$ ;  $p = 0.37$ ). El PM10 fue mayor en el invierno con diferencias estadísticamente sgnificativas ( $t = 21.35$ ;  $p < 0.0001$ ), y el O3 fue superior en el verano con diferencias también significativas ( $t = -41.13$ ;  $p < 0.0001$ ).

La disminución que muestran el VEF1 y el CVF muestreados (observados) de la temporada de verano a la de invierno representan un 4.65% y un 5.14% respectivamente. ¿Que tanto influyen las diferencias significativas que presentan el PM10 y el O3 sobre las diferencias significativas encontradas en el VEF1 y el CVF? La respuesta a esta interrogante forma parte

integral del objetivo que persigue este estudio, la cual se describe en los subsiguientes apartados.

Tabla III. Tendencia central, dispersión y pruebas t student de las variables dependientes de: VEF1 = Volumen espiratorio forzado en un segundo medido en litros (L). CVF = Capacidad Vital Forzada medida en litros (L), y las variables independientes de: T = Temperatura ambiente medido en grados centígrados (°C). Hr = Humedad relativa ambiente medida en porcentajes (%). PM10 = Material microfraccionado respirable de diámetro aerodinámico menor a las 10 micras medido en microgramos por metro cúbico de aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). O3 = ozono medido en partes por millón (ppm). La T, Hr, PM10 y O3 representan promedios de 24 horas (hr) retrospectivos a partir de la fecha y hora registrados en el momento de realizarle al escolar las pruebas espirométricas (*i.e.*, VEF1 y CVF).

Variable	Invierno N (x±ds)	Verano N (x±ds)	Diferencia entre medias t-valor (p-valor)
VEF1 (L)	258 (2.05±0.44)	258 (2.15±0.35)	-2.857 (0.0045)
CVF (L)	258 (2.4±0.54)	258 (2.53±0.44)	-2.998 (0.0029)
T	258 (19.83±4.13)	258 (30.2±0.5)	-40.039 (p<0.0001)
Hr	258 (32.30±9.37)	258 (31.74±3.46)	0.901 (0.3683)
PM10	258 (96.8±21.23)	258 (67±7.22)	21.346 (p<0.0001)
O3	258 (0.01±0.006)	258 (0.03±0.005)	-41.132 (p<0.0001)

N = tamaño de la muestra. x = media. ds = desviación estándar.

La tabla IV muestra la estadística descriptiva de la edad, el peso, la talla, y del IMC las cuales fueron tomadas de los escolares muestra para ser utilizadas en los modelos como variables independientes, al igual que la T, la Hr, el PM10 y el O3 (ver tabla III).

Tabla IV. Tendencia central y dispersión de las variables independientes de: edad medida en años, el peso medido en kilogramos (kg), talla medida en metros (m), e índice de masa corporal (IMC) calculado con el peso dividido por el cuadrado de la talla (ver ecn 1).

Variable	N (x±ds)
Edad	258 (10.34±0.75)
Peso	258 (43.42±12.68)
Talla	258 (1.43±0.08)
IMC	258 (20.85±4.61)

N = tamaño de la muestra. x = media. ds = desviación estándar.

### 10.3 Análisis de Regresión Múltiple.

#### 10.3.1. Muestreo de Invierno.

La tabla V muestra los resultados del análisis multivariado de regresión lineal de la función pulmonar (VEF1 y CVF) para la temporada de invierno, según dos contaminantes (O3 y

Tabla V. Análisis de regresión lineal múltiple (multicontaminante) de la función pulmonar (*i.e.*, VEF1 y CVF) de los escolares muestra, según la exposición a dos contaminantes (*i.e.*, O3 y PM10) durante la temporada de invierno, el peso medido en kilogramos (kg), la talla medida en metros (m), la T = Temperatura ambiente medido en grados centígrados (°C), y la Hr = Humedad relativa ambiente medida en porcentajes (%). La T y Hr, representan promedios de 24 horas (hr) retrospectivos a partir de la fecha y hora registrados en el momento de realizarle al escolar las pruebas espirométricas (*i.e.*, VEF1 y CVF). El mayor coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) alcanzado en estos modelos fue para exposiciones de promedios de 24hr.

Invierno (N=258)												
Variable	R <sup>2</sup> (%)					Modelo	Coeficientes No Estandarizados 24Hrs	ES 24Hrs	IC (95%) 24Hrs		FIV 24Hrs	Test de Normalidad Residual (α=0.20)
	R <sup>2</sup> Ajustado								W-test (p-valor)			
	4Hrs	8Hrs	16Hrs	24Hrs	48Hrs					IC-I		IC-D
VEF1	54.81	58.42	63.71	65.55	65.44	Intercepto	-2.0398 (p<0.0001)	0.4576	-2.9409	-1.1386	-	0.99 (0.38)
	53.73	57.43	62.85	64.73	64.62	Hr	0.0182 (p<0.0001)	0.0026	0.013	0.0235	2.294	
						O3	-7.9326 (0.0214)	3.427	-14.682	-1.1832	1.3535	
						Peso	0.0046 (0.0139)	0.0018	0.0009	0.0082	2.0611	
						PM10	-0.0093 (p<0.0001)	0.0008	-0.0109	-0.0076	1.1973	
						Talla	0.0384 (p<0.0001)	0.0061	0.0265	0.0504	2.3471	
						T	2.4758 (p<0.0001)	0.3035	1.8781	3.0735	2.2071	
CVF	56.33	0.5924	64.15	66.28	65.39	Intercepto	-2.2864 (0.0001)	0.5554	-3.3802	-1.1926	-	0.99 (0.41)
	55.29	0.5827	63.29	65.48	64.56	Hr	0.0213 (p<0.0001)	0.0032	0.015	0.0276	2.294	
						O3	-9.0472 (0.0306)	4.1598	-17.24	-0.8548	1.3535	
						Peso	0.0086 (0.0002)	0.0022	0.0042	0.013	2.0611	
						PM10	-0.0113 (p<0.0001)	0.001	-0.0133	-0.0092	1.1973	
						Talla	2.7595 (p<0.0001)	0.3684	2.034	3.485	2.2071	
						T	0.0447 (p<0.0001)	0.0074	0.0302	0.0592	2.3471	

VEF1 = Volumen espiratorio forzado en un segundo medido en litros (L). CVF = Capacidad Vital Forzada medida en litros (L), PM10 = Material microfraccionado respirable de diámetro aerodinámico menor a las 10 micras medido en microgramos por metro cúbico de aire (µg/m<sup>3</sup>). O3 = ozono medido en partes por millón (ppm). Al igual que la T y la Hr, el O3 y el PM10 representan promedios de 24 horas (hr) retrospectivos a partir de la fecha y hora registrados en el momento de realizarle al escolar las pruebas espirométricas (*i.e.*, VEF1 y CVF). b = valor del coeficiente asociado a la variable independiente y su significancia estadística (p-valor). ES = error estándar del coeficiente asociado a la variable independiente. IC-I = intervalo de confianza izquierdo al 95% del coeficiente asociado a la variable independiente. IC-D = intervalo de confianza derecho al 95% del coeficiente asociado a la variable independiente. FIV = Factor de inflación de la varianza. W-test = estadístico de Shapiro Wilks y su valor de significación estadística (p-valor) al 80% que contrasta la hipótesis de normalidad en los residuales del modelo.

PM10), T, Hr, Talla, y Peso. Se obtuvieron modelos de la función pulmonar para exposiciones de 4, 8, 16, 24 y 48hrs tanto de contaminantes como de las variables meteorológicas. Los promedios fueron calculados de manera retrospectiva, a partir de la fecha y hora de cuando se realizaron las mediciones espirométricas a cada escolar muestra. En todos los casos, el IMC resultó tener colinealidad con el peso, aun en el modelo para promedios de 24 hr con un factor de inflación de la varianza (FIV) de 92 y 152 respectivamente. La tabla VI muestra la alta correlación (ver coeficiente de correlación en negritas) presentada entre estas dos variables.

La edad no presentó significancia estadística en ninguno de los casos modelados (*i.e.*, promedios de 4, 8, 16, 24 y 48hr), incluido en el de promedios de 24hr ( $t = 0.239$ ;  $p=0.8113$ ) por lo que por parsimonia se eliminó del modelo.

El estadístico F contrasta la hipótesis nula de que el valor poblacional de R es cero y, por tanto, nos permite decidir si existe relación lineal significativa entre la variable dependiente y el conjunto de variables independientes tomadas juntas. El valor del coeficiente de determinación  $R^2$  y la significación del contraste F global de la regresión (p-valor) sugieren que gran parte de la variabilidad de la respuesta viene explicada por el modelo ajustado. En la misma tabla V se pueden ver los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) alcanzados en los modelos de cada promediación. Se nota que el mayor  $R^2$  obtenido es para los promedios de 24hr; el modelo VEF1 alcanzó un  $R^2$  de 65.55 % con significación estadística ( $F = 79.230$ ;  $p < 0.0001$ ) y el modelo CVF logró una  $R^2$  de 66.28 % con significación estadística ( $F = 82.237$ ;  $p < 0.0001$ ).

Estos mismos modelos muestran también sus coeficientes no estandarizados con sus respectivas significancias estadísticas (p-valores), los coeficientes estandarizados, el error estándar (ES), los intervalos de confianza al 95 %, el FIV y por último el test de normalidad residual con su estadístico W (Shapiro Wilk) y su respectiva significancia estadística (p-valor). Ambos modelos (VEF1 y CVF) mostraron normalidad residual ( $W = 0.99$ ;  $p = 0.38$ ) y ( $W = 0.99$ ;  $p = 0.41$ ) respectivamente.

Tabla VI. Matriz de correlaciones de Pearson de los datos del muestreo de invierno. Se nota un alto coeficiente de correlación entre el IMC y el peso.

	<b>Peso</b>	<b>Edad</b>	<b>IMC</b>	<b>Talla</b>	<b>T</b>	<b>Hr</b>	<b>O3</b>	<b>PM10</b>
<b>Peso</b>	1	0.1932	<b>0.9315</b>	0.7091	0.1086	-0.0892	-0.1407	-0.0911
<b>Edad</b>	0.1932	1	0.0219	0.4334	0.242	-0.3271	-0.302	0.0577
<b>IMC</b>	<b>0.9315</b>	0.0219	1	0.4152	0.0126	-0.0029	-0.0421	-0.0945
<b>Talla</b>	0.7091	0.4334	0.4152	1	0.2217	-0.1957	-0.2497	-0.0635
<b>T</b>	0.1086	0.242	0.0126	0.2217	1	-0.7412	-0.3138	-0.0044
<b>Hr</b>	-0.0892	-0.3271	-0.0029	-0.1957	-0.7412	1	0.3112	-0.0891
<b>O3</b>	-0.1407	-0.302	-0.0421	-0.2497	-0.3138	0.3112	1	-0.343
<b>PM10</b>	-0.0911	0.0577	-0.0945	-0.0635	-0.0044	-0.0891	-0.343	1

Peso medido en kilogramos (kg), edad medida en años, talla medida en metros (m), índice de masa corporal (IMC) calculado con el peso dividido por el cuadrado de la talla (ver ecu 1), T = Temperatura ambiente medido en grados centígrados (°C). Hr = Humedad relativa ambiente medida en porcentajes (%). PM10 = Material microfraccionado respirable de diámetro aerodinámico menor a las 10 micras medido en microgramos por metro cúbico de aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). O3 = ozono medido en partes por millón (ppm). La T, Hr, PM10 y O3 representan promedios de 24 horas (hr) retrospectivos a partir de la fecha y hora registrados en el momento de realizarle al escolar las pruebas espirométricas (*i.e.*, VEF1 y CVF)

Los coeficientes estandarizados se usan para medir el cambio en variables explicadas (*i.e.*, VEF1 y CVF), en unidades de desviación estándar, inducido por un cambio unitario asociado a la variable explicativa (*i.e.*, contaminantes O3 y PM10), en unidades de desviación estándar, manteniendo constantes las demás variables (*i.e.*, T, Hr, talla, peso). Es una forma de medir la importancia que ocupa cada variable independiente en el modelo construido. Los coeficientes de regresión estandarizados permiten valorar la importancia relativa de cada variable independiente dentro de la ecuación. Estos coeficientes se pueden estimar de los coeficientes de regresión parcial (no estandarizados) estimados ( $\beta$ ) ajustados por el cociente entre la desviación estándar muestral de la variable independiente a la que acompañan y la desviación estándar muestral de la variable dependiente ( $\beta = b \cdot S_x/S_y$ ).

Los modelos fueron construidos con el procedimiento “hacia adelante” (forward), con el sistema NCSS 2007.

La tabla VII muestra los coeficientes estandarizados y estandarizados al cuadrado de los modelos de la función pulmonar presentados en la tabla V. Aquí es posible ver la importancia de la contribución que cada variable tiene en sus respectivos modelos. Se nota por ejemplo que un cambio de una desviación estándar en la variable O3 produciría un cambio de prácticamente -0.1 desviaciones estándar en el VEF<sub>1</sub>, esto indica que este contaminante explica un 1 % la variabilidad del VEF<sub>1</sub> en el muestreo de invierno. Este mismo cambio del O3 produciría un cambio de -0.093 desviaciones estándar en el CVF, con lo que se explicaría casi 0.9 % de la variabilidad en el CVF debido a este

contaminante. Por otro lado, un cambio de una desviación estándar en el PM10 estaría produciendo un cambio de -0.45 desviaciones estándar en el VEF<sub>1</sub>, indicando que este contaminante explica prácticamente el 20 % de la variabilidad del VEF<sub>1</sub>, además este mismo cambio en el PM10 produciría un cambio de -0.44 desviaciones estándar en el CVF con lo que este contaminante estaría explicando un 19.5 % la variabilidad del CVF.

Tabla VII. Coeficientes estandarizados y estandarizados al cuadrado de los modelos de la función pulmonar (VEF<sub>1</sub> y CVF) para la temporada de invierno.

Invierno (N=258)			
Variable	Modelo	Coeficientes	Coeficientes
		Estandarizados	Estandarizados Cuadrados
		24Hrs	24Hrs
VEF <sub>1</sub>	Intercepto	0	0.0000
	Hr	0.388	0.1505
	O3	-0.0999	0.0100
	Peso	0.1319	0.0174
	PM10	-0.4471	0.1999
	Talla	0.3606	0.1300
	T	0.4497	0.2022
CVF	Intercepto	0	0.0000
	Hr	0.3687	0.1359
	O3	-0.0927	0.0086
	Peso	0.2022	0.0409
	PM10	-0.4415	0.1949
	Talla	0.4079	0.1664
	T	0.3411	0.1163

VEF<sub>1</sub> = Volumen espiratorio forzado en un segundo medido en litros (L). CVF = Capacidad Vital Forzada medida en litros (L), y las variables independientes de: T = Temperatura ambiente medido en grados centígrados (°C). Hr = Humedad relativa ambiente medida en porcentajes (%). PM10 = Material microfraccionado respirable de diámetro aerodinámico menor a las 10 micras medido en microgramos por metro cúbico de aire (µg/m<sup>3</sup>). O3 = ozono medido en partes por millón (ppm). La T, Hr, PM10 y O3 representan promedios de 24 horas (hr) retrospectivos a partir de la fecha y hora registrados en el momento de realizarle al escolar las pruebas espirométricas (*i.e.*, VEF<sub>1</sub> y CVF). Peso medido en kilogramos (kg), y talla medida en metros (m).

La contribución a la explicación de la variabilidad del VEF<sub>1</sub> por efecto debido al O3 es significativo ( $t = -2.315$ ;  $p = 0.0214$ ), al igual que la explicación por efecto debido al PM10 ( $t = -11.012$ ;  $p < 0.0001$ ). La contribución a la explicación de la variabilidad del CVF por efecto debido al O3 es significativo ( $t = -2.175$ ;  $p = 0.0306$ ), lo mismo sucede por efecto debido al PM10 ( $t = -11.008$ ;  $p < 0.0001$ ).

### 10.3.2. Muestreo de Verano.

La tabla VIII muestra los resultados del análisis multivariado de regresión lineal de la función pulmonar ( $VEF_1$  y CVF) para la temporada de verano, según dos contaminantes ( $O_3$  y  $PM_{10}$ ), T, Talla, y Peso. Se obtuvieron modelos de la función pulmonar para exposiciones de 4, 8, 16, 24 y 48 hrs tanto de los contaminantes como de las variables meteorológicas. De la misma manera que para los modelos de la temporada de invierno, aquí también los promedios fueron calculados de manera retrospectiva, a partir de la fecha y hora de cuando se realizaron las mediciones espirométricas a cada escolar muestra.

En todos los casos, el IMC resultó tener colinealidad con el peso, aun en el modelo para promedios de 24 hr con un factor de inflación de la varianza (FIV) de 91 y 150 respectivamente. También en todos los casos la Hr mostró alta colinealidad con el  $O_3$  y con el  $PM_{10}$ , con un FIV de 265, de 86, y de 84.4 respectivamente para el modelo con exposiciones de 24hrs.

La tabla IX muestra la alta correlación (ver coeficiente de correlación en negritas) presentada entre estas variables. Las variables que presentaron alta colinealidad fueron excluidas de los modelos (*i.e.*, IMC y Hr). La edad no presentó significancia estadística en ninguno de los casos modelados (*i.e.*, promedios de 4, 8, 16, 24 y 48 hr), siendo la significancia del modelo para promedios de 24 hr de ( $t = -0.378$ ;  $p = 0.7056$ ) por lo que por parsimonia la variable edad se excluyó del modelo.

En la misma tabla VIII se pueden ver los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) alcanzados en los modelos de cada promediación. Se nota que el mayor  $R^2$  obtenido es para los promedios de 24 hr, tanto para el modelo  $VEF_1$  como para el modelo CVF. La  $R^2$  alcanzada en el modelo  $VEF_1$  fue de 46.75 % con significación estadística ( $F = 44.253$ ;  $p < 0.0001$ ) y la  $R^2$  lograda en el modelo CVF fue de 47.14 % con significación estadística ( $F = 44.953$ ;  $p < 0.0001$ ).

Estos mismos modelos muestran también sus coeficientes no estandarizados con sus respectivas significancias estadísticas (p-valores), sus coeficientes estandarizados, el error estándar (ES), los intervalos de confianza al 95 %, el FIV y por último el test de normalidad residual con su estadístico W (Shapiro Wilk) y su respectiva significancia

Tabla VIII. Análisis de regresión lineal múltiple (multicontaminante) de la función pulmonar (*i.e.*, VEF1 y CVF) de los escolares muestra, según la exposición a dos contaminantes (*i.e.*, O3 y PM10) durante la temporada de verano, el peso medido en kilogramos (kg), la talla medida en metros (m), la T = Temperatura ambiente medido en grados centígrados (°C), y la Hr = Humedad relativa ambiente medida en porcentajes (%). La T y Hr, representan promedios de 24 horas (hr) retrospectivos a partir de la fecha y hora registrados en el momento de realizarle al escolar las pruebas espirométricas (*i.e.*, VEF1 y CVF). El mayor coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) alcanzado en estos modelos fue para exposiciones de promedios de 24hr.

Verano (N=258)												
Variable	R <sup>2</sup> (%)					Modelo	Coeficiente no Estandarizado b (p-valor) 24Hrs	ES 24Hrs	IC (95%) 24Hrs		FIV 24Hrs	Test de Normalidad Residual ( $\alpha=0.20$ ) W-test (p-valor) 24Hrs
	4Hrs	8Hrs	16Hrs	24Hrs	48Hrs				IC-I	IC-D		
VEF1	45.85	45.85	46.02	46.75	46.31	Intercepto	0.7171 (0.5998)	1.365	-1.9711	3.4054	-	0.99 (0.30)
	44.77	44.77	44.95	45.7	45.25	O3	-16.6224 (0.0384)	7.9856	-32.3494	-0.8954	7.2642	
						Peso	0.0065 (0.0004)	0.0018	0.0029	0.01	2.075	
						PM10	-0.0128 (0.0224)	0.0056	-0.0237	-0.0018	6.3224	
						Talla	2.1982 (p<0.0001)	0.2967	1.6138	2.7825	2.2183	
						T	-0.0227 (0.5336)	0.0365	-0.0946	0.0491	1.3024	
CVF	46.44	46.42	46.51	47.14	46.53	Intercepto	0.3126 (0.8548)	1.707	-3.0493	3.6745	-	0.98 (0.007)
	45.38	45.36	45.45	46.1	45.47	O3	-19.6874 (0.0498)	9.9867	-39.3555	-0.0193	7.2642	
						Peso	0.0090 (0.0001)	0.0023	0.0046	0.0135	2.075	
						PM10	-0.0135 (0.0536)	0.007	-0.0272	0.0002	6.3224	
						Talla	2.6583 (p<0.0001)	0.3711	1.9275	3.39	2.2183	
						T	-0.0180 (0.6938)	0.0456	-0.1078	0.0718	1.3024	

VEF1 = Volumen espiratorio forzado en un segundo medido en litros (L). CVF = Capacidad Vital Forzada medida en litros (L), PM10 = Material microfraccionado respirable de diámetro aerodinámico menor a las 10 micras medido en microgramos por metro cúbico de aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). O3 = ozono medido en partes por millón (ppm). Al igual que la T y la Hr, el O3 y el PM10 representan promedios de 24 horas (hr) retrospectivos a partir de la fecha y hora registrados en el momento de realizarle al escolar las pruebas espirométricas (*i.e.*, VEF1 y CVF). b = valor del coeficiente asociado a la variable independiente y su significancia estadística (p-valor). ES = error estándar del coeficiente asociado a la variable independiente. IC-I = intervalo de confianza izquierdo al 95% del coeficiente asociado a la variable independiente. IC-D = intervalo de confianza derecho al 95% del coeficiente asociado a la variable independiente. FIV = Factor de inflación de la varianza. W-test = estadístico de Shapiro Wilks y su valor de significación estadística (p-valor) al 80% que contrasta la hipótesis de normalidad en los residuales del modelo.

estadística (p-valor). El modelo respectivo al VEF<sub>1</sub> muestra normalidad residual (W = 0.99; p = 0.30) pero el correspondiente al CVF no (W = 0.98; p = 0.007).

Tabla IX. Matriz de correlaciones de Pearson de los datos del muestreo de verano. Se nota un alto coeficiente de correlación entre el IMC y el peso; y de la Hr con el O<sub>3</sub> y el PM<sub>10</sub>.

	Edad	Hr	IMC	O <sub>3</sub>	Peso	PM <sub>10</sub>	Talla	T
Edad	1	-0.3232	0.0221	0.3442	0.1935	-0.2228	0.4346	0.015
Hr	-0.323	1	0.018	<b>-0.8047</b>	-0.0738	<b>0.869</b>	-0.1941	-0.1576
IMC	0.0221	0.018	1	-0.0064	<b>0.9322</b>	0.0254	0.4201	-0.0056
O <sub>3</sub>	0.3442	<b>-0.8047</b>	-0.0064	1	0.0865	-0.9107	0.2125	-0.4229
Peso	0.1935	-0.0738	<b>0.9322</b>	0.0865	1	-0.041	0.7114	0.0007
PM <sub>10</sub>	-0.223	<b>0.869</b>	0.0254	-0.9107	-0.041	1	-0.1305	0.3045
Talla	0.4346	-0.1941	0.4201	0.2125	0.7114	-0.1305	1	0.0042
T	0.015	-0.1576	-0.0056	-0.4229	0.0007	0.3045	0.0042	1

Peso medido en kilogramos (kg), edad medida en años, talla medida en metros (m), índice de masa corporal (IMC) calculado con el peso dividido por el cuadrado de la talla (ver ecu 1), T = Temperatura ambiente medido en grados centígrados (°C). Hr = Humedad relativa ambiente medida en porcentajes (%). PM<sub>10</sub> = Material microfraccionado respirable de diámetro aerodinámico menor a las 10 micras medido en microgramos por metro cúbico de aire (µg/m<sup>3</sup>). O<sub>3</sub> = ozono medido en partes por millón (ppm). La T, Hr, PM<sub>10</sub> y O<sub>3</sub> representan promedios de 24 horas (hr) retrospectivos a partir de la fecha y hora registrados en el momento de realizarle al escolar las pruebas espirométricas (*i.e.*, VEF<sub>1</sub> y CVF).

La tabla X muestra los coeficientes estandarizados y estandarizados al cuadrado de los modelos de la función pulmonar presentados en la tabla VIII. Aquí es posible ver la importancia de la contribución que cada variable tiene en sus respectivos modelos. Se nota por ejemplo que un cambio de una desviación estándar en la variable O<sub>3</sub> produciría un cambio de prácticamente -0.26 desviaciones estándar en el VEF<sub>1</sub>, esto indica que este contaminante explica un 6.7 % la variabilidad del VEF<sub>1</sub> en el muestreo de verano. Este mismo cambio del O<sub>3</sub> produciría un cambio de -0.24 desviaciones estándar en el CVF, con lo que se explicaría un casi 6 % de la variabilidad en el CVF debido a este contaminante. Por otro lado, un cambio de una desviación estándar en el PM<sub>10</sub> estaría produciendo un cambio de -0.27 desviaciones estándar en el VEF<sub>1</sub>, indicando que este contaminante explica un 7 % la variabilidad del VEF<sub>1</sub>, además este mismo cambio en el PM<sub>10</sub> produciría un cambio de -0.22 desviaciones estándar en el CVF con lo que este contaminante estaría explicando prácticamente 5 % de la variabilidad del CVF. La contribución a la explicación de la variabilidad del VEF<sub>1</sub> por efecto debido al O<sub>3</sub> es significativo (t = -2.082; p = 0.0384), al igual que la explicación por efecto debido al PM<sub>10</sub> (t = -2.298; p = 0.0224). La contribución a la explicación de la variabilidad del CVF por efecto debido al O<sub>3</sub> es significativo (t = -1.971; p = 0.0498), no se puede decir lo mismo por efecto debido al PM<sub>10</sub> (t = -1.939; p = 0.0536).

Tabla X. Coeficientes estandarizados y estandarizados al cuadrado de los modelos de la función pulmonar (VEF1 y CVF) para la temporada de verano.

Variable	Modelo	Coeficiente Estandarizado	Coeficiente Estandarizado Cuadrado
		24Hrs	24Hrs
VEF1	Intercepto	0	0
	O3	-0.2579	0.06651241
	Peso	0.2372	0.05626384
	PM10	-0.2656	0.07054336
	Talla	0.5072	0.25725184
	T	-0.0327	0.00106929
CVF	Intercept	0	0
	O3	-0.2433	0.05919489
	Peso	0.2643	0.06985449
	PM10	-0.2233	0.04986289
	Talla	0.4886	0.23872996
	T	-0.0206	0.00042436

VEF1 = Volumen espiratorio forzado en un segundo medido en litros (L). CVF = Capacidad Vital Forzada medida en litros (L), y las variables independientes de: T = Temperatura ambiente medido en grados centígrados (°C). PM10 = Material microfraccionado respirable de diámetro aerodinámico menor a las 10 micras medido en microgramos por metro cúbico de aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). O3 = ozono medido en partes por millón (ppm). La T, Hr, PM10 y O3 representan promedios de 24 horas (hr) retrospectivos a partir de la fecha y hora registrados en el momento de realizarle al escolar las pruebas espirométricas (*i.e.*, VEF1 y CVF). Peso medido en kilogramos (kg), y talla medida en metros (m).

### 10.3.3. Diferencias Entre Invierno y Verano.

La tabla XI muestra la disminución ( $\Delta$ ) en litros (L) de la función respiratoria de los escolares muestra que se daría en el VEF<sub>1</sub> y en el CVF si se presentara un incremento del contaminante (O3 o PM10) en una desviación estándar ya sea en invierno o en verano. También se muestran los coeficientes estandarizados al cuadrado para medir el grado de importancia que ocupa cada contaminante en su respectivo modelo. Por ejemplo, el VEF<sub>1</sub> disminuiría 43.6 ml en invierno ante un incremento de una desviación estándar en el O3 de 0.0055 ppm. La disminución del VEF<sub>1</sub> en verano sería de 89.8 ml ante un incremento de una desviación estándar en el O3 de 0.0054 ppm. Ahora, si en el invierno se presentara un incremento del PM10 en una desviación estándar de 21.23  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de aire, el VEF<sub>1</sub> disminuiría 197.4 ml. La disminución del VEF<sub>1</sub> en verano sería de 92.3 ml ante un incremento del PM10 en una desviación estándar de 7.21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de aire.

Tabla XI. Disminución de la función pulmonar (VEF1 y CVF) en los escolares muestra por efecto del incremento de una desviación estándar (ds) en los contaminantes (O3 y PM10), durante las temporadas muestreadas de frío y de verano.

Modelo	Conte	Invierno					Verano				
		Coeficiente No Estandarizado		Coeficiente Estandarizado Cuadrado			Coeficiente No Estandarizado		Coeficiente Estandarizado Cuadrado		
		24Hrs	24Hrs	$\Delta$ (L)	IC-I (95%)	IC-D (95%)	24Hrs	24Hrs	$\Delta$ (L)	IC-I (95%)	IC-D (95%)
VEF1	O3	-7.9326	1.00%	-0.0436	-0.0806	-0.0067	-16.6224	6.65%	-0.0898	-0.1743	-0.0052
	PM10	-0.0093	19.99%	-0.1974	-0.2307	-0.1642	-0.0128	7.05%	-0.0923	-0.1714	-0.0132
CVF	O3	-9.0472	0.86%	-0.0498	-0.0946	-0.0049	-19.6874	5.92%	-0.1063	-0.2120	-0.0006
	PM10	-0.0113	19.49%	-0.2399	-0.2815	-0.1983	-0.0135	4.99%	-0.0973	-0.1963	0.0016

VEF1 = Volumen espiratorio forzado en un segundo medido en litros (L). CVF = Capacidad Vital Forzada medida en litros (L). PM10 = Material microfraccionado respirable de diámetro aerodinámico menor a las 10 micras medido en microgramos por metro cúbico de aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). O3 = ozono medido en partes por millón (ppm).  $\Delta$  = disminución de la función pulmonar (VEF1 y CVF) en litros (L) por efecto de incrementar en una desviación estándar (ds) ya sea el O3 o el PM10. ds del O3 en invierno = 0.0055ppm y en verano = 0.0054ppm. ds del PM10 en invierno =  $21.23\mu\text{g}/\text{m}^3$  y en verano =  $7.21\mu\text{g}/\text{m}^3$ . IC-I = intervalo de confianza izquierdo al 95%. IC-D = intervalo de confianza derecho al 95%.

El CVF, por otra parte, sufriría una disminución de 49.8 ml en el invierno ante un incremento del O<sub>3</sub> en una desviación estándar de 0.0055 ppm. Si en el verano se diera un incremento del O<sub>3</sub> en una desviación estándar de 0.0054 ppm, el CVF disminuiría 106.3 ml. Si el PM<sub>10</sub> aumentara en el invierno una desviación estándar de 21.23 µg/m<sup>3</sup> de aire, el CVF se decrementaría 239.9 ml. Si en el verano el aumento del PM<sub>10</sub> fuera en una desviación estándar de 7.21 µg/m<sup>3</sup>, el decremento del CVF sería de 97.3 ml.

En la misma tabla XI se muestran los coeficientes estandarizados al cuadrado en porcentajes (contribuciones) que están asociados a los dos contaminantes incluidos en los modelos de la función pulmonar, para cada temporada estudiada (invierno y verano). Vemos por ejemplo que el O<sub>3</sub> contribuye con mayor peso en verano (6.65 %) que en invierno (1%) en la disminución del VEF<sub>1</sub>; en cambio el PM<sub>10</sub> muestra mayor peso en invierno (19.99 %) que en verano (7.05 %). En el caso de la disminución del CVF, el O<sub>3</sub> contribuye más en el verano (5.92 %) que en el invierno (0.86 %), y el PM<sub>10</sub> es más importante en el invierno (19.49 %) que en el verano (4.99 %).

La tabla XII muestra las diferencias entre la temporada de invierno y la temporada de verano de la disminución del VEF<sub>1</sub> y del CVF de los estudiantes muestra ante las exposiciones del O<sub>3</sub> y del PM<sub>10</sub>. Se observa por ejemplo que el VEF<sub>1</sub> en el verano presenta una diferencia en su disminución de 46.2 ml respecto al invierno por efecto de incrementar en una desviación estándar el contaminante O<sub>3</sub>. Por efecto de aumentar el PM<sub>10</sub> en una desviación estándar se observa una diferencia en la disminución del VEF<sub>1</sub> en el invierno de 105.1 ml respecto al verano. El CVF ante un aumento del O<sub>3</sub> en una desviación estándar muestra una diferencia en su disminución de 56.5 ml en verano respecto al invierno, y una diferencia en su disminución de 142.6 ml ante incrementos en una desviación estándar del PM<sub>10</sub> en la temporada de invierno respecto a la de verano.

La figura 8 presenta una gráfica de barras de errores, donde se muestran los valores en litros de la disminución del VEF<sub>1</sub> y del CVF (círculos) de los estudiantes muestra con sus respectivos intervalos de confianza (líneas horizontales pequeñas) y para cada temporada del año estudiada (invierno = círculos sólidos, verano = círculos huecos). Se puede ver en ambas temporadas que tanto el VEF<sub>1</sub> como CVF presentan menos disminución ante los efectos del O<sub>3</sub> (líneas verticales discontinuas) que ante los efectos del PM<sub>10</sub> (líneas verticales continuas).

En el verano la disminución del VEF<sub>1</sub> por efecto del O<sub>3</sub> es menor que en el invierno y viceversa por efecto del PM<sub>10</sub>. Lo mismo sucede en el caso del CVF

Tabla XII. Diferencias en la disminución de la función pulmonar por efecto de la exposición a contaminantes (O<sub>3</sub> y PM<sub>10</sub>) entre la muestra tomada en invierno y la muestra tomada en verano.

Modelo	Conte	Muestra		Diferencia	
		$\Delta_i$ (L)	$\Delta_v$ (L)	Dif Inv	Dif Ver
VEF <sub>1</sub>	O <sub>3</sub>	-0.0436	-0.0898	-	-0.0462
	PM <sub>10</sub>	-0.1974	-0.0923	-0.1051	-
CVF	O <sub>3</sub>	-0.0498	-0.1063	-	-0.0565
	PM <sub>10</sub>	-0.2399	-0.0973	-0.1426	-

VEF<sub>1</sub> = Variable dependiente correspondiente al modelo del volumen espiratorio forzado en un segundo medido en litros (L). CVF = Variable dependiente correspondiente al modelo de la capacidad vital forzada medida en litros (L). PM<sub>10</sub> = Material microfraccionado respirable de diámetro aerodinámico menor a las 10 micras medido en microgramos por metro cúbico de aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). O<sub>3</sub> = ozono medido en partes por millón (ppm).  $\Delta_i$  = disminución de la función pulmonar (VEF<sub>1</sub> y CVF) en litros (L) por efecto de incrementar en una desviación estándar (ds) ya sea el O<sub>3</sub> o el PM<sub>10</sub> durante la temporada de invierno.  $\Delta_v$  = disminución de la función pulmonar (VEF<sub>1</sub> y CVF) en litros (L) por efecto de incrementar en una desviación estándar (ds) ya sea el O<sub>3</sub> o el PM<sub>10</sub> durante la temporada de verano. ds del O<sub>3</sub> en invierno = 0.0055ppm y en verano = 0.0054ppm. ds del PM<sub>10</sub> en invierno = 21.23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y en verano = 7.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Conte = contaminante. Diferencia = diferencias encontradas entre invierno (Dif Inv) y verano (Dif Ver) de la disminución del VEF<sub>1</sub> y CVF ( $\Delta_i$  y  $\Delta_v$ ) por efecto de la contaminación del aire (PM<sub>10</sub> y O<sub>3</sub>).

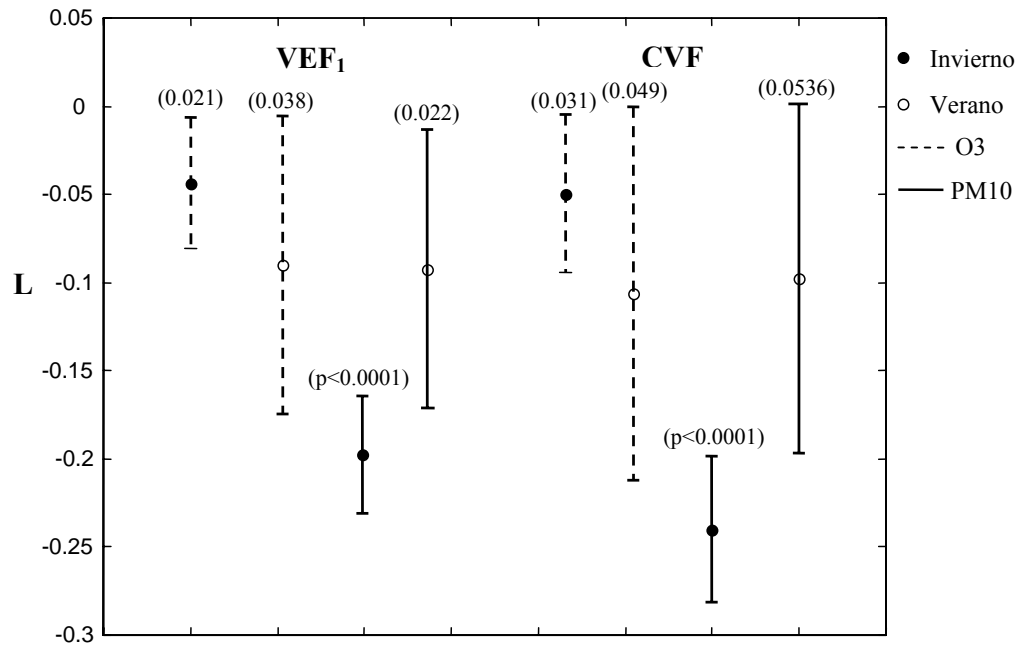


Figura 8. Disminución del VEF<sub>1</sub> y del CVF de los escolares muestra ante los efectos al aumentar en una desviación estándar los contaminantes O<sub>3</sub> y PM<sub>10</sub> en el invierno y verano. Las líneas discontinuas verticales con círculos sólidos indican efectos debidos al O<sub>3</sub> en la temporada de frío. Las líneas discontinuas verticales con círculos huecos indican efectos debidos al O<sub>3</sub> en la temporada de calor. Las líneas verticales continuas con círculos sólidos indican efectos debidos al PM<sub>10</sub> en la temporada invernal. Las líneas verticales continuas con círculos huecos indican efectos debidos al PM<sub>10</sub> en la temporada cálida. Las líneas horizontales pequeñas marcan los límites superiores e inferiores de los respectivos intervalos de confianza. Los números entre paréntesis indican la significancia estadística del coeficiente de regresión asociado al contaminante respectivo.

## 11. DISCUSION Y CONCLUSIONES

Tanto el  $VEF_1$  como el CVF muestreados (observados) mostraron diferencias estadísticamente significativas entre la muestra realizada en invierno y la muestra realizada en verano. Lo mismo sucedió para el O<sub>3</sub>, el PM<sub>10</sub> y la temperatura. La humedad relativa no presentó diferencias estadísticamente significativas entre el muestreo de invierno y el muestreo de verano.

Los efectos de las diferencias significativas encontradas en el PM<sub>10</sub> y en el O<sub>3</sub> sobre los valores observados del  $VEF_1$  y del CVF, fueron estimados utilizando modelos de regresión múltiple (forward). Las variables independientes consideradas en los modelos fueron las que alcanzaron significancia estadística. Se descartaron aquellas variables que mostraron colinealidad. Los modelos fueron construidos y probados utilizando promedios de 4, 8, 16, 24 y 48hrs de cada variable independiente, exceptuando las variables demográficas. Los mejores modelos obtenidos fueron aquellos en los que se consideraron los promedios de 24hrs. El criterio utilizado como mejor modelo fue el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y la prueba de normalidad en los residuales.

Los modelos construidos mostraron que:

- El  $VEF_1$  y el CVF de los escolares muestra se vieron disminuidos tanto en invierno como en verano ante la exposición de los contaminantes O<sub>3</sub> y PM<sub>10</sub>.
- El O<sub>3</sub> demostró producir mayor efecto en la disminución del  $VEF_1$  y del CVF en la muestra de verano que en la de invierno.
- El PM<sub>10</sub> demostró tener mayor efecto en la disminución del  $VEF_1$  y del CVF en la muestra de invierno que en la de verano.
- El CVF disminuyó más que el  $VEF_1$  en ambas muestras (invierno y verano) ante exposiciones de O<sub>3</sub> o PM<sub>10</sub> (ver tabla XI).
- El PM<sub>10</sub> produjo mayor disminución del  $VEF_1$  y del CVF que el O<sub>3</sub> en ambas temporadas, aunque los efectos por PM<sub>10</sub> fueron mayores en el CVF.

Se puede concluir que las diferencias estadísticamente significativas encontradas en la disminución de la función pulmonar ( $VEF_1$  y CVF) de los escolares entre la muestra de

invierno y de verano, se deben a los efectos de los contaminantes atmosféricos estudiados (PM10 y O3). Además, los resultados garantizan una confiabilidad del 95% ( $\alpha=0.05$ ), debido a que la muestra con la que se trabajó (N=258) es superior a la mínima requerida (N=250) para alcanzar una potencia estadística por arriba del 80%, según el estudio de potencia estadística realizado.

No se debe de perder vista que estos resultados se derivan de un estudio de efectos agudos de corta duración, por lo que deberán realizarse más investigaciones que permitan reafirmar y robustecer estas aseveraciones estas líneas de investigación.

## BIBLIOGRAFIA

- <sup>1</sup> Murray F, McGraham G.; Air Pollution and health in developing countries the context, in Air Pollution and health in rapidly developing countries. London Earthscan Publications Ltd., 2002, 1-20.
- <sup>2</sup> Bates DV, Introduction in Air pollution and Health; Holgate ST, Samet JM, Koren HS, Mynard RL, edits; San Diego California, edit. Academic Press, 1998:1-4.
- <sup>3</sup> Viegi G, Baldacci S; Epidemiological studies of chronic respiratory conditions in relation to urban air pollution in adults; in The impact of air pollution on respiratory health; edits D'Amato G, Holgate ST; European Respiratory monograph, Aug 2002, 7:21:1-16
- <sup>4</sup> Peters A, Dockery DW, Air pollution and health effects: Evidence from epidemiologic studies, in Air Pollution and respiratory tract; Foster DW, Costa DL, edits, Lung Biology in Health and Diseases, Taylor and Francis group. 2005, 204:1-19
- <sup>5</sup> Zuk M, Tzinzun Cervantes G, Rojas Bracho L, Tercer almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en nueve ciudades mexicanas, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, México D.F. 1ª. Ed, Julio 2007
- <sup>6</sup> Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993, Diario Oficial de la Federación, SEGOB Mexico, 23 de Diciembre 1994
- <sup>7</sup> Understanding Air Quality and Health in the Binational Air Basin of Imperial and Mexicali Valleys, Instituto de Ingeniería Universidad Autónoma de Baja California, San Diego State University-Imperial Valley Campus. Regional Center of Environmental and Socioeconomic Studies, 2001
- <sup>8</sup> American Thoracic Society: Official statement, What constitutes an adverse health effect of air pollution. Am J Resp Crit Care Med 2000, 161:665-673
- <sup>9</sup> Foster WM, Costa DL; Air Pollutants and the Respiratory Tract, edit Claude Lenfant, Lung Biology in Health and Disease, edit Taylor and Francis group, 2005; 204:iii
- <sup>10</sup> Reyna Carranza MA, Quintero Nuñez M, Collins K; Correlation study of the association of PM10 with the main respiratory diseases in the populations of Mexicali, Baja California and Imperial County, California. Rev Mex Ingeniería Biomed, Marzo 2005, XXVI:1:22-36
- <sup>11</sup> Collins C, Reyna Carranza MA, Quintero Nuñez M; An analysis of the effect of environmental contamination on respiratory illnesses in the Imperial and Mexicali Valleys; San Diego State University- Imperial Valley campus, Universidad Autónoma de Baja California 2004, Project Number EH-01-02
- <sup>12</sup> Dockery DW, Pope CA, Xiping X, Pengler JD, Ware JH, Fay ME, Ferris BJ, Speizer FE; An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. New Engl J Med, Dec 9, 1993;329:1753-1759
- <sup>13</sup> Van deer Zee SC, Hoek G, Boezen HM, Schouten JP, van Wijnen JH, Brunekreef B.; Acute effects of urban air pollution on respiratory health in children with and without chronic respiratory symptoms. Occup Environ Med 1999, 56:802-812
- <sup>14</sup> American Thoracic Society (ATS); A committee of environmental and occupational health assembly of the American thoracic society. State of the art review: health effects of outdoor air pollution. Amer Rev Crit Care Med, 1996;153;1:33-50 and 153;2:477-498
- <sup>15</sup> Dirección de Investigación sobre calidad del Aire; Instituto Nacional de Ecología; Contaminantes criterio: Material particulado. [http://www.ine.gob.mx/calair/cont\\_criterio.html](http://www.ine.gob.mx/calair/cont_criterio.html)

- <sup>16</sup> Kodvanti UP, Watkinson WP; Bioavailability of particle-associated air pollutants and relationship to cardiopulmonary injury. In *Air Pollution and respiratory tract*; Foster DW, Costa DL, eds, Lung Biology in Health and Diseases, 2005, 75-133, Taylor and Francis group.
- <sup>17</sup> BennettWD, Brown JS; Particulate dosimetry in the respiratory tract. in *Air Pollution and respiratory tract*; Foster DW, Costa DL, eds, Lung Biology in Health and Diseases, 2005, 21-73, Taylor and Francis group.
- <sup>18</sup> Polley FD, Mille M; Composition of air pollutants. In *Air Pollution and Health*, S Holgate, J Samet, H Koren R Maynard eds: Academic Press 1999 pp 619-634, San Diego California, E.U.A.
- <sup>19</sup> van Eeden SF, Tan WC, Suwa T, Mukae H, Terashima T, Fujii T, Qui D, Vicent R, Hogg JC.; Cytokines involved in the systemic inflammatory response induced by exposure to particulate matter air pollutants (PM10)
- <sup>20</sup> American Thoracic Society Documents; Workshop on lung disease and the environment, where do we go from here?. *Am J Respir Crit Care Med*; 2003;168:250-254
- <sup>21</sup> Van Eeden SF, Yeung A., Quinlam K, Hogg JC.; Systemic response to ambient particulate matter: relevance to chronic obstructive pulmonary disease. *Proc Am Thoracic Soc* 2005;2:61-67
- <sup>22</sup> Schaumann F, Born PJ, Herbrich A, Knoch J, Pitz M, Schins RP, Luettig B, Hohlfeld JM, Heinrich J, Krug.; Metal rich ambient particles (PM10) cause airway inflammation in healthy subjects. *Am J Resp Crit Care Med*, 2004;170:898-903
- <sup>23</sup> Bernstein JA, Alexis N, Brnes C, Bernstein L, Nael A, Peden D, Diaz DS, Tarlo S, Willimas B. Health effect oh air pollution. *J Allergy Clin Immunol*, 2004;114:1116-1123
- <sup>24</sup> Ghio AJ, Kim Ch, Devlin R. Concentrated ambient air particles induce mild pulmonary inflammation in healthy human volunteers. 2000;162:981-988
- <sup>25</sup> Osornio A, flores G, Vazquez I, Garcia C, Reyna MA, quintero M, Clark I,Rojas L, Zuk M, Lopez T, Miranda J, Serrano J, Rosas I, Garcia A. Toxicological evaluation of PM2.5 and PM10 in the city of Mexicali and its correlation with soil. A study to evaluate en direct control measures. Final report 2007 LASPAU 2005-2007
- <sup>26</sup> Pope CA III, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewuski D, Ito K.;Lung Cancer, cardiopulmonary mortality, and long term exposure to fine particulate air pollution. *J Amer Med Assoc*, 2002;287:9:1132-1141
- <sup>27</sup> Peters JM, Avol E, Navidi W, London SJ, Gauderman SJ, Lurman F, Linn WS, Margolis H, Rapapport E, Gong H, Thomas DC. A study of twelve southern California communities with differing leves and types of air pollution. I. Prevalence of respiratory morbidity. *Am J Resp Crit Care Med* , 1999; 159::760-767
- <sup>28</sup> Peters JM, Avol E, Navidi W, London SJ, Gauderman SJ, Lurman F, Linn WS, Margolis H, Rapapport E, Gong H, Thomas DC. A study of twelve southern California communities with differing leves and types of air pollution. II Effects on pulmonary function. *Am J Resp Crit Care Med* 1999, 159:768.775
- <sup>29</sup> Braun-Fahrlander C, Vuille JC, Sennhauser FH, Neu K, Kunzele T, Grize L. Respiratory health and long terma exposure to air pollution in Swiss school children. SCARPOL team (Swiss studi in childhood allergy, respiratory symptoms with respect to air pollution, climate and pollen). *Am J Resp Crit Care Med* 1997, 155:3:1042-1049
- <sup>30</sup> Pope CA III, Dockery DW, Spengler JD, Raizane ME. Respiratory health and PM10 pollution. A daily time series analysis. *Am J Crit Care Med*, 1991; 144:668-674
- <sup>31</sup> Holguin F, Flores S, Ross Z, Cortez M, Molina M, Molina L, Rincon C, Jerrett M, Berhane K, Granados A, Romieu I. traffic-related exposure, airway function, inflammation, and respiratory symptoms in children. *Am J Respir Crit Care Med* 2007;176:1236-1242

- <sup>32</sup> Moshmmer H, Hutter HP, Hauck H, Neuberger M. Low levels of air pollution induce changes of lung function in a panel of schoolchildren, *Euro Respir J* 2006;27:1138-1143
- <sup>33</sup> Horak Jr F, Studnicka M, Gartner C, Spengler JD, Tauber E, Urbanek R, Veiter A, Frischer T. Particulate matter and lung function growth in children: a 3-yr follow up study in Austrian schoolchildren. *Eur Respir J* 2002; 19:838-845
- <sup>34</sup> Delfino RJ, Quintana P, Floro J, Gastañaga VM, Samimi B, KleinmanMT, Liu S, Bufalino C, Wu CF, McClaren C. Association of FEV<sub>1</sub> in asthmatic children with Personal microenviromental exposure yo airborne particulate matter. *Envir Health Perspec* 2004; 112:8:932-941
- <sup>35</sup> Delfino RJ, Gong H, Lin WS, Hu Y, Pellizari ED. Asthma symptoms in hispanic children and daily ambient exposures to toxic and criteriaair pollutants. *Environ Health Perspec* 1999; 111:647-656
- <sup>36</sup> Peters JM, Avol E, Gauderman WJ, Linn WS, Navidi W, London SJ. A study of twelve southern California communities with differing levels and types of air pollution. II. Effects on pulmonary function. *Am J Respir Crit Care Med* 1999; 159:768-775
- <sup>37</sup> Roemer W, Hoek G, Brunekreef B. Pollution effects on asthmatic children in Europe (PEACE study), *Clin Exp Allergy* 2000; 30:1067-1075
- <sup>38</sup> Rabinovitch N, Strand M, Gelfand EW. Particulate levels are associated with early asthma worsening in children with persistent disease. *Am J resp Crit Care* 2006;173:1098-1105
- <sup>39</sup> Pope CA, Bates DV, Raizanne ME; Health-effects of particulate air pollution: time for areassessment. *Environ Health Perspec* 1995:103:472-480
- <sup>40</sup> Gauderman WJ, Avol E, Gilliland F, Vora H, Thomas D, Berhane K, McConnell R, Kuenzli N, Lurmann F, Rappaport E, Margolis H, Bates D, Peters J; The effect of air pollution on lung development from 10 to 18 years of age. *N Engl J Med*, 2004, 351:11:1057-1067
- <sup>41</sup> Gauderman WJ, Gilliland F, Vora H, Stram D, McConnell R, Duncan T, LurmannF, Margolis G, Rappaport EB, Berhane K, Peters JM. Association between air pollution and lung function growth in southern California Children: results from a second cohort. *Am J Resp Crit Care Med* 2002, 166:76-84
- <sup>42</sup> Rojas Martinez R, Perez Padilla R, Olaiz Fernandez G, Mendoza Alvarado L, Moreno Macias H, Fortoul T, Loomis D, Romieu I. *Am J Resp Crit Care Med*, 2007:176:377-384
- <sup>43</sup> Calderon-Garcidueñas L. Lung radiology and pulmonary function of children chronically exposed to air pollution. *Environ Health Perspect*; 2006:9:1432-11436
- <sup>44</sup> Quian Z, Chapman RS, Hu E, Wei F, Korn LR, Shang F; Using air pollution community clusters to explore air pollution health effects in children. *Environment international*; 2004:30:5:611-620
- <sup>45</sup> Gold DR, Wang X, Wypij D, Speizer FE, Ware JH, Dockery DW. Effects of cigarette smoking on lung function in adolescent boys and girls. *N Eng J Med*,1996:335:13:931-937
- <sup>46</sup> American Thoracic society Documents; Workshop on lung disease and environment: where do we go from here?; *Am J Resp Crit Care Med* 2003:168:250-254
- <sup>47</sup> Hoek G, Dockery WG, Pope A, Neas L, Roemer W, Brunekreef B. Association between PM10 and decrements in peak flow espiratory flow rates in children: reanalysis of data from five panel studies. *Eur Resp J* 1998;11:1307-1311
- <sup>48</sup> Osornio Vargas et al: Lung cell toxicity experimentally induced by mixed dust from Mexicali, Baja California México, *Environ Research* 1991: 56:1:31-47

- <sup>49</sup> Brown TH, LeMay HE, Bursten BE, Burdge JR, in: Nicole Folchetti: Chemistry: the central science. 9<sup>th</sup> edit (English) 2003, 882-883, Pearson education.
- <sup>50</sup> Ozono: Curso de autoinstrucción. Orientación para el control de la contaminación del aire. Organización Panamericana de la Salud (OPS) 2007
- <sup>51</sup> Tager IB. Chronic exposure and susceptibility to oxidant air pollutants. In Air Pollutants and the respiratory tract. Edits WM Foster, Costa DL 2<sup>nd</sup> edition, Lung Biology in Health and Disease, 2004; vol 204:259-301
- <sup>52</sup> Peden DB. Air Pollution: Indoor and outdoor. In Middleton's Allergy: Principles and Practice; AN Adkinson, JW Yunginger, WW Busse, BS Bochner, ST Holgate, FE Simons. 6<sup>th</sup> edit 2003;2:5515-525
- <sup>53</sup> Ambient Air Pollution: Health hazards to children. Committee on environmental health; Pediatrics 2004;114:1699-1707
- <sup>54</sup> Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-1993, Salud Ambiental. Criterios para evaluar la calidad de aire ambiente con respecto al ozono (O<sub>3</sub>)
- <sup>55</sup> Mudway IS, Kelly FJ; An investigation of inhaled ozone dose and the magnitude of airway inflammation in healthy adults. Am J Resp Crit Care Med; 2004; 169:1089-1085
- <sup>56</sup> Hazucha MJ, Bates DV, Bromberg PA. Mechanisms of action of ozone on the human lung. J Appl Physiol 1989; 67(4): 1535-1541
- <sup>57</sup> Krishna M, Springall D, Meng QH, Withers N, Macleod D, Bisciones G, Frew A, Polak J, Holgate S. Effects of ozone on epithelium and sensory nerves in the bronchial mucosa of healthy humans. Am J Resp Crit Care Med;1997:156:943-950
- <sup>58</sup> Jorres RA, Holz O, Zachgo W, Timm P, Koschyk S, Muller B, Grimminger F, Seeger W, Kelly J, Dunster Ch, Frischer T, Lubec G, Waschewski M, Niendorf A, Magnussen H; The effect of repeated ozone exposures on inflammatory markers in bronchoalveolar lavage fluid and mucosal biopsies. Am J Resp Crit Care Med; 2000: 161: 1855-1861
- <sup>59</sup> Holz O, Jorres R, Timm P, Mucke M, Richter K, Koschyk, Magnussen H. Ozone Induced airway inflammatory changes differ between individuals and are reproducible. Am J Respir Crit Care Med 1999;159:776-784.
- <sup>60</sup> Koop MV, Bohnet W, Frischer T, Ulmer C, Studnicka M, Ihrost G, Gardner C, Forster J, Urbanek R, Kuher J. Effects of ambient ozone on lung function in children over a two year summer period. Eur Respir J; 2000:16:893-900
- <sup>61</sup> Frank R, Liu MC, Spannhake EW, Mlynaker S, Macri K, Weinman G. Repetitive ozone exposure of young adults. Evidence of persistent small airway dysfunction. Am respire crit Care Med 2001;164:1253-1260
- <sup>62</sup> Burnett RT, Smith-Doiron M, Stieb D, Raizenne ME, Brook JR, Dales RE, Leech JA, Cakmark S, Krewski D. Association between ozone and hospitalization for acute respiratory diseases in children less than 2 years of age. Am J Epidemiol; 2001:153:5:444-452
- <sup>63</sup> Borja-Aburto VH, Loomis DP, Bangdwiwala SI. Ozone suspended particulates and daily mortality in Mexico city. Am J Epidimiol 1997; 145:258-268
- <sup>64</sup> Rojas-Martinez R, Perez-Padilla R, Olaiz fernandez G, Mendoza –Alvarado L, Moreno Macias H, Fortoul T, McDonell W, Loomis D, Romieu I. Lung function growth in children with long term exposure to air pollutants in Mexico city. Am J respire Crit Care Med 2007; 176:377-384
- <sup>65</sup> Hazucha MJ, Folinsbee LJ, Bromberg PA. Distribution and reproducibility of spirometric response to ozone by gender and age. J Appl Physiol 2003;95:1917-1925

- <sup>66</sup> Spektor DM, Lippmann M, Liroy PJ, Thurston GD, Citak K, James DJ, Bock N, Speizer FE, Hayes C. Effects of ambient ozone on respiratory function in active normal children. *Am Rev Respir Dis* 1998; 137(2):313-320
- <sup>67</sup> Spektor DM, Thurston GD, Mao J, He D, Hayes C, Lippmann M. Effects of single and multiday ozone exposures on respiratory function in active normal children. *Environ respire* 1991; 55(2) 107-122
- <sup>68</sup> Higgins IT, D'Arcy JB, Gibbons DI, Avol EL, Gross KB. Effect of exposures to ambient ozone on ventilator function in children. *Am Rev Resp Dis* 1990;141(5 pt1)1136:1146
- <sup>69</sup> Kinney PL, Thurston GD, Raizanne M. *Environ Health Perspect* 1996;104:2:170-174
- <sup>70</sup> Frischer T, Studincka M, Gartner Ch, Tauber E, Horak F, Veiter A. Lung function growth and ambient ozone, a three year population study in school children. *Am J Respir Crit care Med* 1999;169:390-396
- <sup>71</sup> Chen PCh, Lai YM, Chan Ch, Hwang JS, Yang CY, Wang JD. Short term effect of ozone on the pulmonary function test in children in primary school. *Environ Health Perspec* 1999; 187:11:921-925
- <sup>72</sup> Cujipers CE, Swaen GMH, Wesseling G, Hoek G, Sturmans F, Wouters EF. Acute respiratory effects of low summer smog in primary school children. *Eur respire J.* 1995; 8:967-975
- <sup>73</sup> Ihorst G, Frischer T, Horak F, Schumacher M, Koop M, Forsster J, Mattes J, Kuehr J. Long and medium-term ozone effects on lung growth including a broad spectrum of exposure. *Eur respire J* 2004; 23:292-299.
- <sup>74</sup> Koop MV, Bohnet W, Frischer T, Uklmer C, Studnicka M, Ihorst G, Gardner C, Forster J, Urbanek R, Kuehr J. Effects of ambient ozone on lung function in children over a two-summer period. *Eur Respir J* 2000; 15:5:893-900
- <sup>75</sup> McDonnell WF, S PW, Smith MV, Pan WK, Pan J. Ozone induced respiratory symptoms: exposure-response models and association with lung function. *Eur Respir J* 1999;14:845-853
- <sup>76</sup> Abbey DE, Burchette RJ, Knutsen SF, MacDonnell WF, Lebowitz MD, Enrigh PL. Long term particulate and others air pollutants and lung function in non-smokers. *Am J Respir Crit Care Med* 1998; 158:289-298
- <sup>77</sup> Mudway IS, Kelly F. An investigation of inhaled ozone dose and the magnitude of airway inflammation in healthy adults. *Am J respire Crit Care Med* 2004;169:1089-1095
- <sup>78</sup> Dreschler-Parks DM, Bedi JF, Horvath SM. *Toxicol and Health* 1989;5:3:505-517
- <sup>79</sup> McDonnell WF, Stewart PW, Andreoni S, Seal E, Kerhl HR, Horstman DH. Prediction of ozone induced FEV<sub>1</sub> changes. *Am J Respir Crit care Med* 1997;156:715-722
- <sup>80</sup> Balmes JR, Chen LL, Scanell C, Tager I, Christian D, Hearne PQ, Kelly T, Aris RM. Ozone induced decrements in FEV<sub>1</sub> and CVF do not correlate with measures of inflammation. *Am J Respir Crit Care Med* 1996;153:3:904-909
- <sup>81</sup> Blomberg A, Mudway IS, Nordenhall C, Hedestrom H, Kelly FJ, Holgate S, Sandstrom T. Ozone induced lung function decrements do not correlate with early airway inflammatory antioxidant response. *Eur Respir J*;1999;13:1418-1428
- <sup>82</sup> Tager IB. Air Pollution and lung function growth, is it Ozone?. *Am J Resp Crit Care Med* 1999;160:387-389
- <sup>83</sup> Romieu I, Ramirez Aguilar M, Sienra-Monge JJ, Moreno-Macias H, Del Rio-Navarro BE, David G, Marzec J, Hernandez -Avila M, London S. GSTM1 y GSTP1 and respiratory health in asthmatic children exposed to ozone. *Eur respire J* 2006;28:953-959

- <sup>84</sup> American Thoracic Society. Lung Function testing: selection of reference values and interpretative strategies. *Am Rev respire dis* 1991; 144:1202-1218
- <sup>85</sup> Ramirez A, Bejar K, Recaberren A. Alteraciones espirometricas en adolescentes de una ciudad industrial. *Anales de la Facultad de Medicina* 2002; 63:1:1:13 Universidad Nacional de San Marcos, Arequipa Perú
- <sup>86</sup> American Thoracic Society: Standarization os spirometry 1994 update. *Am J Respir Crit Care Med* 1995; 152:1107-1136
- <sup>87</sup> Nelson GB, Gardner RM, Crapo RO, Jensen RL. Performance evaluation of contemporary spirometers. *Chest* 1990;97:288-297
- <sup>88</sup> Perez Padilla JR, Regalado Pineda J, Vazquez Garcia JC. Reproducibilidad de espirometrias en trabajadores mexicanos y valores de referencia internacionales. *Salud Pública de México* 2001;43:2:113-121
- <sup>89</sup> Miller MR, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A, Crapo R, Enrigh , van der Grinten CPM, Gustaffson P, Jensen R, Johnson DC, Macintyre N, Navajas D, Pedersen OF, Pellegrino G, viegi G, Wagner J. Standardization of spirometry. Series ATS/ERS task force: Standardization of Lung Function Testing, Number 2. V. Brusasco, R Crapo, G. Viegi edits. *Eur Respir J* 2005; 25:319-338
- <sup>90</sup> Hutchinson J. On the capacity of the lungs and do on the respiratory functions with view of establishing precise and easy method of detecting disease by spirometer. *Trans Med-Chir Soc London* 1846;29:137-252
- <sup>91</sup> Petty TL. Simple spirometry for frontline practitioners. 1998, edit Leannec Publishing Inc. Fairfield NJ USA
- <sup>92</sup> Crapo RO. Pulmonary Function Testing. *N Engl J Med* 1994; 331:25-30
- <sup>93</sup> Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V, Crapo RO, Burgos F, Casaburi R, Coates A, van der Grinten CPM, Gustaffson P, Hankinson J, Jensen R, Johnson DC, Macintyre N, Miller MR, Navajas D, Pedersen OF, Wagner J. Interpretative strategies for lunf function tests. In Series ATS/ERS Task Force: Standardization of Lung Function Testing, Number 5. V. Brusasco, R. Crapo, G Viegi edits. *Eur Respir J* 2005; 26:948-968

## Índice de tablas y figuras

<b>Tablas</b>	<b>Página</b>
Tabla I: Clasificación de ciudades por contaminante	19
Tabla II: Características de la población estudiada	50
Tabla III: Medidas de tendencia central, dispersión y t student de variables Dependientes	53
Tabla IV: Medidas de tendencia central, dispersión y t student de variables Independientes	54
Tabla V: Matriz de correlaciones de Pearson, muestreo de invierno	54
Tabla VI: Matriz de correlaciones de Pearson muestreo de verano	56
Tabla VII: Análisis de regresión lineal múltiple (multicontaminante) de la función pulmonar (CVF, VEF <sub>1</sub> ) temporada de invierno	60
Tabla VIII Análisis de coeficientes estandarizados de función pulmonar temporada de invierno	61
Tabla IX: Análisis de regresión lineal múltiple (multicontaminante) de la función pulmonar (CVF, VEF <sub>1</sub> ), temporada de verano	62
Tabla X: Análisis de coeficientes estandarizados de función pulmonar temporada de verano	63
Tabla XI: Disminución de la función pulmonar por incremento de 1 D.E por Exposición a contaminantes ambientales (O <sub>3</sub> y PM <sub>10</sub> )	64
Tabla XII: Diferencia en la disminución de la función pulmonar por efecto de los contaminantes en muestras tomadas en invierno y verano	65

## Figuras

Figura 1: Comportamiento mensual de las PM <sub>10</sub> en la zona norte del país	19
Figura 2: Formación de Ozono troposférico	20
Figura 3: Comportamiento mensual Ozono en la zona norte del país	24
Figura 4: Comportamiento horario del Ozono en la zona norte del país	25
Figura 5: Gráfica de potencia estadística	45
Figura 6: Gráfica de niveles de contaminación de PM <sub>10</sub> y O <sub>3</sub> por estaciones del año	46
Figura 5: Mapa de ubicación de escuelas muestra con relación a centro de monitoreo ambiental	47
Figura 8: Gráfica de barras de errores comparativa de los efectos de la función pulmonar (VEF <sub>1</sub> y CVF) por la exposición a contaminantes O <sub>3</sub> y PM <sub>10</sub> durante las épocas de invierno y verano	65

## ANEXOS

### Anexo 1 CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Estimado jefe (a) de familia.

Por medio de la presente me permito solicitar su autorización para que su hijo(a):  
alumno(a) de la escuela: Primaria :  
que cursa el año en el grupo: participe en el estudio de investigación que estamos  
realizando por parte de la Facultad de Medicina y del Instituto de Ingeniería de la Universidad  
Autónoma de Baja California, consistente en **la medición del impacto de la contaminación  
del aire en la función pulmonar de los niños de 9,10 11 y 12 años de edad.**

El estudio es **gratuito**, y consiste en registrar la función pulmonar por medio de un  
equipo denominado **espirómetro computarizado**; es un estudio **NO invasivo**, y consiste en  
pedir al niño que sopla en el dispositivo de registro, a través de un accesorio individual  
desechable, y para que lo efectúe nuestro equipo de trabajo le entrenará brevemente a  
realizarlo en forma correcta; por lo que **NO existe algún tipo de riesgo** para los participantes  
en este estudio. Estas mediciones se harán en 3 diferentes épocas del año escolar durante los  
meses de Octubre a Diciembre del 2008, Abril y Junio del 2009,

Los resultados de dicho estudio se le harán llegar con un reporte especial, para que lo  
conservar, y en el caso de que se detecte alguna patología pulmonar, se le sugerirá el  
procedimiento a seguir para su atención médica.

La participación de su hijo es muy importante para lograr los objetivos de nuestro  
estudio y la utilización de los resultados se usarán para determinar el efecto de la  
contaminación del aire en nuestra niñez mexicalense.

SI AUTORIZO

Nombre:

Firma:

Fecha:

Mestro responsable del grupo:

Director de la Escuela

Dr. Juan Valente Mérida Palacio

**Ficha de Identificación**

**Fecha:**

**No. de Identificación:**

**Nombre:**

**Dirección:**

**Teléfono:**

**Nombre del Padre ó Madre ó Tutor:**

**Nombre de la Escuela:**

**ANTECEDENTES PERSONALES ( DEL NIÑO)**

**1.- Sexo:            Hombre \_\_\_\_            Mujer \_\_\_\_**

**2.- Grupo étnico:**

**3.- Fecha de nacimiento:**

**4.- Lugar de nacimiento:**

**5.- ¿Cuánto tiempo tiene viviendo en su colonia (años)? : \_\_\_\_ años**

**6.- ¿Donde vivía antes? (ciudad, colonia) :**

**7.- ¿Cuánto tiempo vivió en ese lugar?**

**8.- ¿Cuánto tiempo tiene su hijo asistiendo a su escuela? (años): \_\_\_\_ años**

**9.- ¿Cuantos cuartos tiene su casa? (sin contar baños): \_\_\_\_ cuartos**

**10.- ¿Cuántas personas viven en su casa? \_\_\_\_ personas**

**11.- ¿De qué material está hecha su casa?**

**A. Madera \_\_\_\_**

**B. Ladrillo o bloque \_\_\_\_**

C. Adobe \_\_\_\_

12.- ¿De qué material es el piso de la casa?

A. Concreto \_\_\_\_

B. Tierra \_\_\_\_

C. Otro (especificar) \_\_\_\_\_

13.- ¿Qué tipo de calefacción tiene en su casa?

Vapor o agua caliente \_\_\_\_ Calentón eléctrico \_\_\_\_ Calentón de gas \_\_\_\_ Calentón de petróleo \_\_\_\_ Horno \_\_\_\_ otro \_\_\_\_ No tiene calefacción \_\_\_\_

14.- ¿Con qué tipo de combustible cocina la mayoría de las veces?:

Carbón \_\_\_\_ Leña \_\_\_\_ Gas (tanque) \_\_\_\_ Electricidad \_\_\_\_ Aceite o keroseno \_\_\_\_

15.- ¿Tiene aire acondicionado, aire humidificado (COOLER) , filtro de aire o ventilador (abanico eléctrico)?

Ninguno \_\_\_\_ Aire Acondicionado \_\_\_\_ Cooler \_\_\_\_ Ventilador \_\_\_\_ filtro de aire \_\_\_\_

Aire acondicionado + ventilador \_\_\_\_ Aire acondicionado + cooler \_\_\_\_ Aire

acondicionado + filtro de aire \_\_\_\_ Ventilador + filtro de aire \_\_\_\_ Aire acondicionado + cooler + filtro de aire \_\_\_\_

16.- ¿Tienen mascotas en casa? (perro, gato, aves)

Ninguno \_\_\_\_ Gato \_\_\_\_ Perro \_\_\_\_ Pájaros \_\_\_\_ otras aves \_\_\_\_ Gato + Perro \_\_\_\_ Gato

+ Pájaros \_\_\_\_ Perro + pájaros \_\_\_\_ Gato + Perro + Pájaros \_\_\_\_

### ANTECEDENTES PERSONALES PATOLOGICOS

17.- ¿El niño presenta ataques de tos, flemas, congestión del pecho por 1 semana o más al año? SI \_\_ NO \_\_

a. Si respondió afirmativamente: ¿desde cuándo? \_\_\_\_ años

b. ¿En promedio cuántos cuadros gripales con tos y flemas padece al año? promedio al año \_\_\_\_

NO aplica \_\_\_\_

### SIBILANCIAS:

18.- ¿El niño ha padecido sonidos en el pecho como sibilancias o silbidos? Si \_\_\_\_ NO \_\_\_\_

Si respondió AFIRMATIVAMENTE, ¿cuando presenta sibilancias ¿

a. Cuando le da un resfriado SI \_\_\_\_ NO \_\_\_\_



24.- ¿Al niño ya lo operaron de las anginas o los adenoides? Si \_\_\_\_ No \_\_\_\_

**HISTORIA FAMILIAR**

25.- Favor de indicar si es:

- A. Padre o Madre biológico (a) \_\_\_\_
- B. Padrastro o Madrastra \_\_\_\_
- C. Otro (especifique) \_\_\_\_\_

26.- Indicar el máximo grado de escolaridad de:

- A. Padre biológico o Padrastro \_\_\_\_\_
- B. Madre biológica o Madrastra \_\_\_\_\_
- C. Otro \_\_\_\_\_

27.- ¿En qué trabaja actualmente? \_\_\_\_\_

28.- ¿Cuál miembro de la familia fuma regularmente ( más de 1 cigarrillo al dia ) ?

- A. Padre o tutor \_\_\_\_
- B. Madre \_\_\_\_
- C. Otros \_\_\_\_

29.- La persona que fuma regularmente (padre, madre, tutor u otros), ¿fuma dentro de la casa cuando el niño se encuentra presente?

- A. NO \_\_\_\_
- B. SI \_\_\_\_ (en caso afirmativo, ¿qué es lo que fuma?)
  - 1. Cigarrillos
  - 2. Puro
  - 3. Pipa
  - 4. Cigarrillos + Pipa ó puro
  - 5. Otros: \_\_\_\_\_ (especifique)

30.-¿ Al padre, la madre biológicos se le ha diagnosticado alguna de las siguientes enfermedades?

- A. Bronquitis? 1. SI \_\_\_\_ 2. NO \_\_\_\_ 3. No Se \_\_\_\_
- B. Asma? 1. SI \_\_\_\_ 2. NO \_\_\_\_ 3. No Se \_\_\_\_
- C. Enfisema 1.-SI \_\_\_\_ 2: NO \_\_\_\_...3: No Se. \_\_\_\_
- D. Alergia de la Nariz 1. SI \_\_\_\_ 2. NO \_\_\_\_ 3. No Se

E. Otra enfermedad respiratoria? (especifique):  
\_\_\_\_\_

**31.- ¿ A alguna persona que viva dentro de la casa con el niño se le ha diagnosticado tuberculosis pulmonar?**

**A. NO** \_\_\_\_\_

**B. SI** \_\_\_\_\_

**En caso de responder afirmativamente: ¿Se encuentra en tratamiento?**

**A. SI** \_\_\_\_\_

**B. NO** \_\_\_\_\_

**32.- Alguna persona que viva dentro de la casa con el niño ¿padece alguna enfermedad crónica que no sea respiratoria?**

**A. NO** \_\_\_\_\_

**B. SI** \_\_\_\_\_ Especifique cual \_\_\_\_\_

**FIRMA DEL PADRE, MADRE O TUTOR**

**FIRMA MAESTRO**

## RESUMEN

### Antecedentes

Según el Instituto Nacional de Ecología, Mexicali Baja California, ocupa el primer lugar en contaminación por  $PM_{10}$  con un pico en su concentración durante los meses de frío, y un séptimo lugar en lo referente al  $O_3$ . con concentraciones atmosféricas mayores durante los meses de calor. Ambos contaminantes se han asociado con disminución en la función pulmonar en las poblaciones expuestas.

### Objetivo

Determinar si las concentraciones de  $PM_{10}$  y  $O_3$  afectan la función pulmonar en escolares sanos de 9 a 12 años de edad residentes de zona urbana, durante las épocas de mayor y menor concentración de ambos contaminantes atmosféricos.

### Material y Método

Se efectuó un estudio transversal entre los periodos de frío y de calor en escolares sanos de 9 a 12 años de edad residentes en zona urbana; la muestra fue de 300 escolares y fue obtenida en forma aleatoria de escuelas primarias del sistema gubernamental de educación. Se aplicó un cuestionario epidemiológico a cada individuo para seleccionar la muestra, se les efectuó la medición de espirometría (volumen espiratorio forzado en 1 segundo o  $VEF_1$ , y capacidad vital forzada o CVF) en cada época del año. La fecha y hora fue registrada en el momento mismo de realizar las pruebas. Se aplicó un estudio de regresión lineal multivariado (multicontaminante) para encontrar la correlación de causalidad entre promedios móviles de los contaminantes (i.e.,  $PM_{10}$  y  $O_3$ ) y sus efectos en la disminución del  $VEF_1$  y CVF.

### Resultados

La muestra estudiada fue de 258 escolares, de los cuales 138 fueron del sexo femenino (53.5%), y 120 del sexo masculino (46.5%). Con relación a la edad, 37 (14.34%) tenían 9 años, 104 (40.31%) 10 años, 110 (42.61%) 11 años, y 7 (2.71%) al momento de iniciado el estudio. El 94.96% habita en viviendas de material de ladrillo y bloque de concreto, el 98.84% utilizan el gas butano como combustible doméstico, el 90.70% poseen aire acondicionado, el 64% no tiene sistema de calefacción, el 21,71% utilizan calefactores eléctricos. El 96.51% no está expuesto al humo del tabaco en su hogar.

En el muestreo de invierno el efecto encontrado en  $VEF_1$  por  $PM_{10}$  fue significativo ( $t = -11.012$ ;  $p < 0.0001$ ), al igual que por efecto de  $O_3$  ( $t = -2.315$ ;  $p = 0.0214$ ). Siendo lo mismo para la CVF,  $PM_{10}$  ( $t = -11.008$ ;  $p < 0.0001$ ) y  $O_3$  ( $t = -2.175$ ;  $p = 0.0306$ ). En el muestreo de verano el efecto sobre el  $VEF_1$  por el  $O_3$  fue significativo ( $t = -2.082$ ;  $p = 0.0384$ ), al igual que por el efecto del  $PM_{10}$  ( $t = -2.298$ ;  $p = 0.0224$ ); El efecto del  $O_3$  sobre el CVF fue significativo ( $t = -1.971$ ;  $p = 0.0498$ ) sin embargo el efecto de las  $PM_{10}$  en esta variable fue débilmente significativo ( $t = -1.939$ ;  $p = 0.0536$ )

### Conclusiones

La CVF como el  $VEF_1$  se vieron disminuidos en las temporadas de invierno y verano por la exposición a  $PM_{10}$  y  $O_3$ ; El  $O_3$  causó mayor disminución del  $VEF_1$  y CVF durante la muestra de verano, y el  $PM_{10}$  durante la muestra de invierno. El CVF disminuyó más en ambas muestras por efecto de ambos contaminantes. El  $PM_{10}$  produjo una mayor disminución del CVF y  $VEF_1$  que el  $O_3$  en términos globales.