



INSTITUTO NACIONAL DE SALUD PÚBLICA

**DOCTORADO EN SALUD PÚBLICA EN SERVICIO
2008-2011**

Artículos:

**EXPOSICIÓN A CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS Y MARCADORES DE
ESTRÉS OXIDATIVO EN NIÑOS ESCOLARES DE SALAMANCA Y LEÓN,
GUANAJUATO, MÉXICO.**

**EXPOSICIÓN A CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS Y FUNCIÓN
PULMONAR EN NIÑOS ESCOLARES DE SALAMANCA Y LEÓN,
GUANAJUATO, MÉXICO.**

Alumna: Ana Teresa Romero Calderón.
E-mail: romero_calderon@hotmail.com

Director: Dr. Albino Barraza Villareal.
E-mail: abarraza@insp.mx

Asesores:
Dra. Hortensia Moreno Macías.
E-mail: hmm@xanum.uam.mx
Dr. Armando Pérez Cabrera.
E-mail: alamo97@hotmail.com

Índice

Introducción	3
Artículos:	4
Exposición a contaminantes atmosféricos y marcadores de estrés oxidativo en niños escolares de Salamanca y León, Guanajuato, México.	4
Resumen	
Introducción	
Material y métodos	
Resultados	
Discusión	
Conclusiones	
Referencias	
Tablas	
Exposición a contaminantes atmosféricos y función pulmonar en niños escolares de Salamanca y León, Guanajuato, México.	24
Resumen	
Introducción	
Material y métodos	
Resultados	
Discusión	
Conclusiones	
Referencias	
Tablas	
Conclusiones	41

Introducción.

El presente documento aporta la realización de dos artículos científicos de análisis de efecto de la contaminación atmosférica en la salud de población vulnerable, niños asmáticos y no asmáticos en edad escolar, que forman parte de un estudio de cohorte tipo panel que se realiza en el estado de Guanajuato en las ciudades de Salamanca y León, Guanajuato; a partir de septiembre de 2010. Con la finalidad de contar con evidencia para poder generar estrategias y políticas públicas que ayuden a prevenir, controlar y mitigar la magnitud de los efectos; ya que las concentraciones de los contaminantes atmosféricos en cada una de estas ciudades de estudio, León y Salamanca, se ha incrementado en los últimos tiempos, esto debido al crecimiento demográfico y socioeconómico.

Estos artículos científicos ofrecen información novedosa sobre los efectos a la salud derivados de la contaminación atmosférica que se tiene en estas dos ciudades progresistas, y con esto los tomadores de decisiones cuenten con bases para sustentar estrategias y políticas públicas relacionadas con el medio ambiente basadas en evidencias.

Los resultados preliminares de efecto a la salud obtenidos son consistentes con otros estudios similares realizados en zonas metropolitanas, sin embargo es recomendable continuar con las investigaciones, que permitan identificar de forma temprana los efectos de la contaminación en la salud de la población.

Exposición a contaminantes atmosféricos y marcadores de estrés oxidativo en niños escolares de Salamanca y León, Guanajuato, México.

Ana Teresa Romero Calderón¹, Hortensia Moreno Macías², Joel David Francisco Manrique Moreno¹, Horacio Riojas Rodríguez³, Yessica Dorín Torres Ramos⁴, Juan José Hicks Gómez⁴, Benigno Linares Segovia⁵, Beatriz Cárdenas⁶, Claudia Bárcenas⁷, Albino Barraza Villarreal³.

¹Instituto de Salud Pública del Estado de Guanajuato, Guanajuato, México

²Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, D.F. México,

³Instituto Nacional de Salud Pública, Cuernavaca, México.

⁴Instituto Nacional de Perinatología “Isidro Espinosa de los Reyes”, D.F. México.

⁵Universidad de Guanajuato, Campus León, Guanajuato, México

⁶Dirección General del Centro nacional de Investigación y Capacitación Ambiental, D.F., México.

⁷Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato, Salamanca, Guanajuato, México.

Autor correspondiente: Albino Barraza Villarreal, Salud Ambiental, Instituto Nacional de Salud Pública. Teléfono: 52 (777) 1012981, Fax: 52 (777) 1012933, correo electrónico: abarraza@correo.insp.mx

Palabras clave: Contaminación atmosférica, estrés oxidativo, escolares, asmáticos, biomarcadores.

RESUMEN:

Antecedentes: Los efectos a la salud derivados de la exposición a contaminantes atmosféricos han sido ampliamente documentados en diferentes investigaciones, sin embargo, son pocos los estudios realizados en nuestro país, dirigidos a evaluar los efectos sobre diferentes marcadores de oxidación en niños escolares. **Objetivo:** Como parte de un estudio de cohorte tipo panel que se está realizando en las ciudades de Salamanca y León, Guanajuato, México, se realizó la presente investigación con el propósito de evaluar el impacto de la exposición a contaminantes atmosféricos sobre el incremento en los niveles de marcadores de estrés oxidativo en niños escolares de Guanajuato, México. **Métodos:** Se incluyeron a 314 niños escolares, 149 asmáticos y 165 no asmáticos. Se realizaron determinaciones de biomarcadores plasmáticos de estrés oxidativo (Dienos conjugados, Lipo-hidroperóxidos, Malondialdehído, y Carbonilación de proteínas) mediante espectrofotometría y se recabó información de salud mediante la aplicación de un cuestionario. En cuanto a la exposición se obtuvo información sobre contaminantes atmosféricos (O₃, SO₂, CO, PM_{2.5} y PM₁₀) de las estaciones fijas de monitoreo, localizadas en ambas ciudades y se corrieron modelos de regresión lineal múltiple para la evaluación de la asociación. **Resultados:** La mediana de edad de la población no asmática fue de 9 años para ambas ciudades y de 9 y 9.5 años en niños asmáticos para León y Salamanca, respectivamente. El nivel promedio de Dienos conjugados, lipohidroperoxidos, malondialdehido y carbonilación de proteínas fueron mayores en la Ciudad de Salamanca tanto en niños asmáticos, como en no asmáticos (p<0.05). En cuanto a las mediciones de los contaminantes la mediana del máximo de 24 hrs de ozono fue de 56.7 y 36.4 ppb y de 58.7 y 70.0 µg/m³ para el máximo de 24 hrs de PM_{2.5} en León y Salamanca, respectivamente. Los principales hallazgos relacionados con la exposición a contaminantes atmosféricos sobre los marcadores de estrés oxidativo, se observaron en la población asmática de Salamanca y para la población no asmática de León, Gto, derivada de la exposición a PM_{2.5} y PM₁₀ principalmente (p < 0.05). **Conclusiones:** Los resultados de la presente investigación apoyan la hipótesis de que la exposición a contaminantes atmosféricos favorecen el incremento del estrés oxidativo tanto en niños asmáticos, como en niños escolares sin asma.

Introducción.

Existe un gran número de estudios realizados en animales y datos en humanos sobre los efectos a la salud derivados de la exposición a contaminantes atmosféricos^{1, 2, 3, 4} destacando que la concentración de los contaminantes en la atmosfera, la duración y la frecuencia de la exposición, además de los factores de estilo de vida y las características individuales influyen en la magnitud de los efectos^{5, 6}. Existen diferentes reportes que apuntan a que el estrés oxidativo, pudiera ser uno de los principales mecanismos de daño derivados de la exposición a contaminantes atmosféricos⁷, el cual se produce por una alteración del equilibrio entre la producción de radicales libres y la capacidad antioxidante⁸. Dergham M y colaboradores realizaron un estudio in vitro y encontraron que después de exponer a un conjunto de células epiteliales bronquiales al material particulado se incrementó la generación de especies reactivas de oxígeno y se indujo un daño oxidativo, manifestado por la formación de 8-hidroxi-2-desoxiguanosina, la formación de malondialdehído y la alteración del glutatión⁹. Asimismo, se ha reportado que la producción de aldehídos reactivos puede ser generada por la presencia de algunas enfermedades preexistentes¹⁰, por la exposición a radiaciones y por la exposición a contaminantes atmosféricos¹¹, sin embargo, los resultados sobre el impacto de la exposición a contaminantes atmosféricos en concentraciones reales sobre diferentes marcadores de estrés oxidativo son limitados en nuestro país y los resultados y mecanismos involucrados aun no son totalmente aclarados, motivo por el cual realizamos la presente investigación con el objetivo de evaluar la asociación entre la exposición a contaminantes atmosféricos y el incremento en los niveles de marcadores plasmáticos de estrés oxidativo en niños escolares de León y Salamanca, Guanajuato, México, Ciudades del interior de nuestro país que actualmente están sufriendo serios problemas de contaminación ambiental.

Material y métodos.

Diseño y población de estudio: Como parte de un estudio de cohorte tipo panel que se esta realizando actualmente en las Ciudades de Salamanca y León, Gto. México, para dar respuesta a las preocupaciones de sus habitantes sobre los posibles efectos a la salud derivada de la exposición a contaminantes atmosféricos; se realizó el presente análisis transversal, se incluyeron en el estudio a 314 niños escolares (149 asmáticos y 165 no asmáticos) entre el rango de edad de 7 a 12 años. La selección de los niños escolares se realizó por conveniencia mediante la invitación para su participación en el estudio. En

cuanto a la selección de los niños asmáticos se realizó considerando un listado proporcionado por los hospitales del sector público en donde se encontraban registrados los niños con diagnóstico de asma, tanto para León como para Salamanca; y para la selección de los niños escolares sin el diagnóstico de asma, se seleccionaron, invitando a participar a un compañero que asistía a la misma escuela del niño asmático. Se informó y explicó sobre el estudio a los padres de los niños, a los cuales se les invitó a participar previo consentimiento informado. A los niños participantes también se les pidió expresaran su consentimiento de participar en el estudio. El protocolo fue aprobado por los comités de Ética, Bioseguridad e investigación del Instituto Nacional de Salud Pública.

Área de estudio. La presente investigación se realizó en las Ciudades de León y Salamanca Gto, y este reporte corresponde a la recolección de la información de la primera etapa del estudio que se realizó de septiembre 2010 a mayo de 2011. Estas ciudades son de las más importantes y progresistas del estado de Guanajuato y actualmente experimentan problemas de contaminación ambiental derivados de diferentes fuentes. La ciudad de León, Guanajuato; ocupa el primer lugar en el estado en aporte de contaminantes totales, siendo los vehículos automotores los que mayormente contribuyen con la contaminación, señalando que aproximadamente 350 mil vehículos¹² circulan en la ciudad y cerca del 92.1% de las emisiones de los contaminantes provienen de estas fuentes, siendo las concentraciones de monóxido de carbono las que mayormente se emiten a la atmósfera. Por otro lado la ciudad de Salamanca, ocupa el primer sitio en el estado en la emisión de SO₂, destacando que las principales fuentes generadoras de emisiones de contaminantes de este tipo, están representadas por la Termoeléctrica de la Comisión Federal de Electricidad y la refinería "Ing. Antonio M. Amor" de Pemex, ya que cerca del 52.3% de las emisiones son derivadas predominantemente de la refinación de petróleo y el 33.7% por la generación de electricidad¹³.

Recolección de información: Se aplicó un cuestionario (adaptado de los instrumentos de encuestas ya existentes y utilizados en estudios anteriores), en donde se recopiló información sobre el estado de salud de cada uno de los niños participantes, así como información sobre variables socio demográficas, historia de salud previa y exposición ambiental en interiores (humo de tabaco, insecticidas, polvo intramuros, uso de tipos de

combustibles, ventilación). Toda esta información se recopiló para cada uno de los niños participantes de acuerdo a su ciudad de residencia.

VARIABLES DEPENDIENTES DE INTERÉS (BIOMARCADORES DE ESTRÉS OXIDATIVO):

Se tomaron dos muestras de sangre; con una diferencia de tres meses, y para el presente reporte transversal se consideró el promedio de las dos mediciones para su inclusión en el análisis. Todas las muestras fueron centrifugadas y almacenadas a menos 40° C. Se realizaron determinaciones para la cuantificación de daño a lípidos y daño a proteínas, considerando los niveles plasmáticos de lipo-hidroperóxidos, malondialdehído y dienos conjugados, así como los niveles de carbonilación de proteínas. La Cuantificación de la lipo-hidroperoxidación y el malondialdehído en membranas de eritrocitos, se midió espectrofotométricamente a una longitud de onda de 360 nm y 584 nm, respectivamente; usando como reactivos, metil-fenil-indol, y ácido tiobarbitúrico, y usando el método iodométrico de El-Saadani y colaboradores^{14, 15}. La medición de los dienos conjugados se realizó por espectrofotometría a una longitud de onda de 234 nm, después de la extracción de lípidos, según el método de Richard y colaboradores¹⁶. Y la cuantificación de daño a proteínas se realizó mediante la cuantificación de la carbonilación de proteínas el cual es uno de los marcadores más utilizados, empleando el método espectrofotométrico a una longitud de onda de 370 nm para la formación de fenilhidrazonas, de acuerdo a Dalle-Done y mediante el método de reducción de NBT de Giese SP y colaboradores¹⁷.

Evaluación de la exposición: Los datos de contaminantes atmosféricos (O₃, SO₂, CO, PM_{2.5} y PM₁₀); además de las variables meteorológicas (temperatura, velocidad del viento y humedad) se obtuvieron de las estaciones fijas de monitoreo a cargo del Instituto de Ecología de Guanajuato. Las redes de monitoreo de contaminantes se encuentran en cada una de las ciudades participantes, ambas cuentan con tres estaciones de monitoreo fijas ubicadas en distribución triangular, la Ciudad de Salamanca cuenta con Nativitas, Cruz Roja y DIF y la Ciudad de León con CICEG, Hospital T-21 del IMSS (Instituto Mexicano de Seguridad Social) y Facultad de Medicina. Se obtuvieron datos de los contaminantes y datos meteorológicos para todos los días del periodo de estudio y para cada ciudad por separado. Para la asignación de la exposición se geo-referenció el hogar y la escuela de cada niño y mediante un sistema de información geográfica (SIG) se asignó a cada niño el máximo de la concentración

de 24 horas de cada contaminante, derivado de la estación de monitoreo más cercana a su hogar o escuela, considerando que los sitios no estuviesen a una distancia mayor de 5 Km.

Análisis estadístico: Las características básicas de la población estudiada fueron comparadas mediante análisis bivariado utilizando pruebas no paramétricas (Kruskal Wallis) y de acuerdo a las características de la población escolar. Se evaluaron las características de las concentraciones y variables meteorológicas para el periodo del estudio y la correlación entre cada uno de los contaminantes para cada ciudad y entre ciudades mediante pruebas de correlación de spearman. Se utilizó el máximo de 24 horas de cada contaminante para evaluar la exposición, incluyendo la evaluación del mismo día, así como la de 1 o 2 días de retraso, es decir, se selecciono el día en que se realizó la toma de muestra para la determinación de los biomarcadores y se asignó la exposición de ese día, así como la concentración de 1 o 2 días previos para la evaluación de la asociación. La evaluación de la asociación entre la exposición a los contaminantes atmosféricos (O₃, SO₂, CO, PM_{2.5} y PM₁₀) y el nivel promedio de las dos mediciones de los marcadores de estrés oxidativo se realizó mediante la utilización de modelos de regresión lineal múltiple, ajustando por sexo, índice de masa corporal y temperatura mínima de un día anterior. Asimismo y desde el diseño del estudio, se considero la evaluación de la asociación de acuerdo a la característica del niño, con el propósito de evaluar la posible modificación del efecto por la presencia de asma o no asma y de esta manera determinar el efecto diferenciado por cuestiones de susceptibilidad, así como por lugar de residencia. El modelo teórico fue el siguiente:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \dots + \beta_n \cdot X_n + E$$

Donde: Y es la variable respuesta de interés, β_0 es la ordenada al origen, $\beta_{1\dots n}$ los coeficientes de regresión, $X_{1\dots n}$, las variables independientes y E el error de la estimación. Todo el análisis estadístico se realizó utilizando el software STATA versión 10.

Resultados:

Características de la población: la tabla 1 y 2 presenta las características de la población estudiada. De un total de 314 niños, la proporción de niños no asmáticos y asmáticos participantes fue del 59% y 47% en León y Salamanca y del 41% y 53%, respectivamente. No observamos diferencias estadísticamente significativas para la edad, talla, peso e índice de masa corporal entre los niños asmáticos y no asmáticos participantes y entre cada ciudad. De acuerdo a los datos, la mediana de edad de los niños no asmáticos participantes fue 9 años en ambas ciudades y de 9.0 y 9.5 años para la población de niños asmáticos de León y Salamanca, respectivamente. El 51% de los participantes escolares no-asmáticos fueron del sexo masculino en ambas ciudades y en los niños asmáticos el 64% y 63% fueron del sexo masculino en León y Salamanca, respectivamente.

Datos de exposición de contaminantes atmosféricos:

Los resultados de los contaminantes se muestran en la tabla 3. La mediana del máximo de ozono (O_3) de 24 hrs fue de 56.7 y 36.4 ppb en la ciudad de León y Salamanca respectivamente, la mediana en el máximo de 24 hrs de ($PM_{2.5}$) fue 58.70 y 70.00 $\mu g/m^3$ en León y Salamanca. La mediana de las partículas de hasta 10 micrómetros en tamaño (PM_{10}) fue de 150.8 y 198.0 $\mu g/m^3$ en León y Salamanca para el periodo de estudio. En general se observaron diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones entre ambas ciudades para los contaminantes (SO_2 , CO, $PM_{2.5}$ y PM_{10}) incluidos en la presente investigación y para el periodo de estudio ($p < 0.05$). No se observaron correlaciones estadísticamente significativas entre las concentraciones de ozono y las partículas ($p > 0.05$) para la Ciudad de León. Por otro lado, se observó una correlación negativa entre el bióxido de azufre y las $PM_{2.5}$ en la Ciudad de Salamanca, sin embargo no fue estadísticamente significativa. Finalmente, se observó una correlación muy baja entre el CO y las PM_{10} y una correlación alta entre el ozono y las PM_{10} en la ciudad de Salamanca (datos no mostrados), lo que comprueba las posibles diferencias entre las principales fuentes de los contaminantes para cada ciudad. En cuanto a los datos climatológicos, estos igualmente se presentan en la tabla 3.

Datos de biomarcadores de estrés oxidativo:

En la tabla 4 se presentan los resultados del promedio de los biomarcadores plasmáticos de estrés oxidativo tanto para los niños asmáticos y no asmáticos participantes y para ambas ciudades. Se encontró que los niveles promedio de los biomarcadores de Lipo-hidroperóxidos y Malondialdehído entre las dos ciudades son estadísticamente diferentes tanto en la población asmática como en la no asmática. El nivel medio de los dienos conjugados para la población asmática de León fue de 2.8 pmol/mg peso seco, en comparación con la mediana de 2.6 pmol/mg peso seco de Salamanca; siendo estadísticamente significativa la diferencia. Por otro lado, los niveles plasmáticos de lipo-hidroperóxidos fueron similares entre asmáticos (41.4 y 42.2 nmol/mg peso seco) y no asmáticos (36.0 y 37.5 nmol/mg peso seco) en León y Salamanca respectivamente. En general, los niveles en los biomarcadores de estrés oxidativo evaluados en la presente investigación fueron más altos en la Ciudad de Salamanca, para la población estudiada.

Asociación entre los resultados de salud y los contaminantes atmosféricos.

Los resultados encontrados relacionados con la asociación entre los biomarcadores de estrés oxidativo y los contaminantes atmosféricos se muestran en la Tabla 5. Los modelos fueron ajustados por índice de masa corporal (IMC), sexo, edad y temperatura mínima del día anterior. Se observó un incremento en los Dienes conjugados por la exposición a 1 día de retraso a PM_{10} en la población asmática de Salamanca, siendo estadísticamente significativo ($p < 0.05$). Asimismo, se observó un efecto marginal en este biomarcador en población no-asmática, por la exposición a $PM_{2.5}$ para dos días de retraso y por la exposición al mismo día a CO en niños no asmáticos de León, Gto. ($p < 0.05$). La exposición a O_3 durante el mismo día se asoció de manera significativa con el incremento en la concentración de Lipo-hidroperóxidos en la población asmática de Salamanca, así como por la exposición a PM_{10} para 2 días de retraso. En cuanto a la medición del Malondialdehído, este se incremento de manera significativa por la exposición a O_3 , $PM_{2.5}$ y PM_{10} en la población asmática de Salamanca, Gto. Finalmente, se observó un incremento en la Carbonilación de proteínas en la población no asmática de León por la exposición a PM_{10} ($p < 0,05$) y un efecto marginalmente significativo asociado a $PM_{2.5}$ en niños no asmáticos de la misma ciudad ($p = 0.053$) (Tabla 5).

Discusión:

Los resultados encontrados en la presente investigación indican que la exposición a los contaminantes atmosféricos favorecen el incremento de los niveles de marcadores de estrés oxidativo (Dienos conjugados, formación de Lipo-Hidroperóxidos, Malondialdehído, y Carbonilación de proteínas) tanto en niños escolares con asma, así como en los niños escolares sin el diagnóstico de la enfermedad, tal como se ha reportado en estudios anteriores^{18, 19, 20, 21}.

Si bien, la exposición a la contaminación atmosférica (O_3 , $PM_{2.5}$ y PM_{10}) se ha asociado ampliamente con el deterioro en la salud de niños asmáticos, son pocos los estudios realizados en el interior del país que se han centrado en la evaluación de otros biomarcadores plasmáticos relacionados con la oxidación, incluyendo niños sanos, a nuestro conocimiento este es el primer estudio en nuestro país que incluye la medición de otros marcadores tales como los lipo-hidroperóxidos y carbonilación de proteínas.

Los resultados más importantes se observaron por la exposición a material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) y el incremento en los niveles plasmáticos de malondialdehído, lipo-hidroperóxidos y carbonilos en la población asmática de Salamanca y en la población no asmática de León, Gto. El incremento en los niveles de malondialdehído entre los niños escolares asociado a la exposición a contaminantes atmosféricos ha sido reportado en estudios previos, señalando que esta medición puede ser usada como un buen biomarcador de la exposición a contaminantes atmosféricos²², resultados que son consistentes con nuestros hallazgos, ya que el mayor impacto de la exposición a los contaminantes atmosféricos se observó para este biomarcador en niños asmáticos y sin asma de Salamanca, Guanajuato principalmente. Asimismo, Bae S y colaboradores⁸ reportaron un incremento del estrés oxidativo por la exposición a contaminantes atmosféricos, manifestado por el incremento en la formación de malondialdehído en muestras de orina de niños escolares.

La asociación encontrada entre la exposición a los contaminantes atmosféricos y el incremento en los biomarcadores plasmáticos puede ser explicada por el potencial oxidativo de los mismos, los cuales inducen un proceso de inflamación sistémica. En primera instancia y derivado del desbalance entre la exposición y la capacidad antioxidante, se produce la liberación de radicales libres que reaccionan de manera directa con los ácidos grasos poliinsaturados, lo que favorece la producción de

aldehídos altamente reactivos^{23, 24}, los cuales a su vez actúan sobre las moléculas celulares, provocando el establecimiento del estrés oxidativo.

Asimismo, se ha señalado que los principales contaminantes que causan mayor preocupación desde el punto de vista de salud pública en la actualidad, han sido el ozono y las partículas, las cuales contienen una gran cantidad de tóxicos en su conformación^{25, 26}, sin embargo, otro de los hallazgos de la presente investigación, fue la asociación significativa entre la exposición a monóxido de carbono y el incremento en los niveles de malondialdehído y dienos conjugados en niños sanos, resultados que coinciden igualmente con lo reportado por Bae S y colaboradores⁸. De igual forma, estudios experimentales han evidenciado la relación entre la exposición a niveles medios y bajos de monóxido de carbono y la aparición de efectos adversos en la salud humana, principalmente en órganos oxígeno dependientes como el cerebro y el corazón^{27, 28}, destacando que el monóxido de carbono es uno de los mayores contaminantes de la atmósfera, derivado de los vehículos automotores que utilizan como combustible gasolina o diesel y en los procesos industriales que utilizan compuestos del carbono.

Por otro lado, es importante tomar en consideración algunas limitaciones del estudio, al momento de interpretar nuestros resultados. En primer lugar la posible limitación en la asignación de la exposición, ya que esta fue basada en los informes diarios de las estaciones fijas de monitoreo localizadas en cada ciudad, que puede causar errores de clasificación, ya que se asume que la variación temporal en la contaminación atmosférica derivada de las mediciones de la rama, siguen el mismo patrón en cada niño independientemente de su ubicación y el patrón de actividad, sin embargo la exposición fue asignada mediante la georeferenciación del domicilio o escuela del niño, lo que le brinda mayor variabilidad a los datos y se tomó en consideración que la distancia entre el monitor y el sitio de residencia del niño no fuera mayor a 5km. En segundo lugar, la falta de datos para algunos contaminantes durante el periodo de estudio, especialmente para las mediciones de PM_{2.5} lo que puede afectar el poder del estudio y las asociaciones encontradas y el no contar con información sobre la especiación de partículas, que brinde mayor soporte a los hallazgos y que nos permita identificar con mayor certidumbre las diferencias encontradas en las concentraciones de acuerdo a las principales fuentes identificadas en cada ciudad. Por último, la posibilidad de un sesgo

de confusión por la falta de evaluación de algunos factores que pudieran influir en la exposición, tal como el nivel socioeconómico, o bien de algunos otros factores que pudieran estar relacionados con el incremento en los biomarcadores de estrés oxidativo, sin embargo, esto es poco probable porque los niños provienen de una misma área de estudio y asisten a escuelas públicas en cada ciudad, por lo que comparten un nivel socioeconómico similar y por otro lado el haber restringido desde el diseño, la participación de escolares con alguna enfermedad preexistente más allá del asma, tales como diabetes o desordenes metabólicos reducen la posibilidad de un sesgo de confusión que pudiera alterar los resultados.

Conclusiones:

Nuestros resultados preliminares muestran que el incremento en los niveles plasmáticos de los marcadores de estrés oxidativo está asociado con la exposición aguda a los contaminantes atmosféricos. Resultados que tienen un importante impacto en salud pública ya que las concentraciones de los contaminantes atmosféricos en León y Salamanca se han venido incrementado en los últimos tiempos. Sin embargo, es recomendable continuar con las investigaciones, que permitan una mayor identificación de los efectos de forma temprana en la población y brinden mayor soporte a los hallazgos y que a su vez favorezcan el planteamiento de estrategias de prevención, control y mitigación de la magnitud de los efectos.

Referencias.

1. Díez F., Tenías J. y Pérez S. Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud. España. Marzo 1999.
<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsea/e/fulltext/salud/salud.pdf>.
2. Schwarz, J. & Marcus, A. Mortality and Air Pollution in London: A Time Series Analysis. *American Journal of Epidemiology*. 1990, 105: 1273-1281.
3. Eschenbacher W., Holian A., Campion R. Air toxics and asthma: impacts and end points. Huston, USA: *Environ Health Perspect*. 1995. 103 Suppl 6:209-11.
4. Ware J., Thibodeau L. Speizer F., Colome S., Ferris B. Assessment of the health effects of atmospheric sulphur oxide and particulate matter: evidence from observational studies. *Environ Health Perspect*. October 1981. 41:255-76.
5. Stanner SA, Hughes J, Kelly CN, Buttriss J. Source. *British Public Health Nutr*. A review of the epidemiological evidence for the 'antioxidant hypothesis' Nutrition Foundation, 52-54 High Holborn, London WC1V 6RQ, UK.
s.stanner@nutrition.org.uk. 2004 May; 7(3):407-22.
6. Romieu I., Barraza-Villarreal A., Escamilla-Nuñez C., Almstrand AC, Diaz-Sanchez D., and Carin Olin A. Exhaled breath malondialdehyde as a marker of effect of exposure to air pollution in children with asthma. Cuernavaca, Mexico, Gothenburg, Sweden, Los Angeles, Calif, and Perth, Australia. 2008 .*American Academy of Allergy, Asthma & Immunology* doi:10.1016/j.jaci.2007.12.004.
7. Romero D., Bueno J. Radicales libres del oxígeno y antioxidantes en medicina. 1998. (184(7):345-6). España: *Rev Clin. Española*.
8. Bae,S. Chuan Pan X., Young Kim S., Park k, Hee Kim Y, Kim H and Chul Hong Y. Exposures to Particulate Matter and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Oxidative Stress in Schoolchildren. 2010. *Environ Health Perspect* 118:579–583. doi:10.1289/ehp.0901077.
9. Halliwell B and Whiteman M., Measuring reactive species and oxidative damage *in vivo* and in cell culture: how should you do it and what do the results mean? *Br J Pharmacol*. 2004 May; 142(2): 231–255.
10. Sies H. Strategies of antioxidant defense. Germany: *Eur. J. Biochem* 1993. (215, 213-219).
11. Stanner A., Hughes J., Kelly C. y Buttriss J. A review of the epidemiological evidence for the “antioxidant hypothesis”. London: *Public Health Nutrition*. 2004. (7, 407-422).

12. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (Julio 2007). *Diccionario de datos de uso del suelo y vegetación (Vectorial)*. México: Bases de Datos Geográficos. (Inventario de Emisiones Guanajuato, Instituto de Ecología del Estado, 2006).
13. Instituto Estatal de Ecología. *Inventario de Emisiones Guanajuato 2006*. Guanajuato, México. 2007.
14. Saadani M, Esterbauer H, El-Sayed, Gober M, Nassar AY, Jürgens G. A. spectrophotometric assay for lipid peroxides in serum lipoproteins using a commercially available reagent. *J Lip Res*. 1989 Apr;30(4):627-30.
15. Monnier G.D., Erdelmeir I, Régnard K., Henry Nathalie M., Claude J.Y., Chaudiere J. Reactions of 1-methyl-2-phenylindole with malondialdehyde and 4 hidroxyalkenals. Analytical applications to a colorimetric assay of lipid peroxidation. *Chem. Res Toxicol*. 1998. 11:1176-1183.
16. Recknagel, Richard O., Glende A. Spectrophotometric detection of lipid conjugated dienes. *Methods in enzymology*. 1984. 105:331-335.
17. Dalle-Done I, Rossi R., Giustarini D., Milzani A., Colombo R. Protein carbonyl groups as biomarkers of oxidative stress. *Clin Chim Acta*. 2003. 329:23-38.
18. Brook RD, Frankin B, Cascio W, Hong Y, Howard G, Lipsett M, *et al*. Air pollution and cardiovascular disease. A statement for healthcare professionals from the Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association. *Circulation* 2004; 109: 2655–2671.
19. Li N., Sioutas C., Cho A., Schmitz D., Misra C., Sempf J., *et al*. Ultrafine particulate pollutants induce oxidative stress and mitochondrial damage. *Environ Health Persp* 2003; 111: 455-460.
20. Routledge HC., Ayres JG. Air pollution and the heart. *Occup Med*. 2005; 55: 439-447.
21. Barraza-Villarreal A, Sunyer J, Hernandez-Cadena L, Escamilla-Nuñez M, Sienra-Monge J, Ramírez-Aguilar M, Cortez-Lugo M, Holguin F, Diaz-Sánchez D, Carin Olin A, and Romieu I, Air Pollution, Airway Inflammation, and Lung Function in a Cohort Study of Mexico City Schoolchildren. *Environmental Health Perspectives*. June 2008. Vol. 116 , número 6 .
22. Romieu I, Barraza-Villarreal A., Escamilla-Nuñez C., Charlotte Almstrand A., Diaz-Sanchez D., Peter D. Sly, and Carin Olin A., Exhaled breath

- malondialdehyde as a marker of effect of exposure to air pollution in children with asthma. Cuernavaca, Mexico, Gothenburg, Sweden, Los Angeles, Calif, and Perth, Australia *J Allergy Clin Immunol*. 2008 Apr;121(4):903-9.
23. Moller P and Loft S., "Oxidative damage to DNA and lipids as biomarkers of exposure to air pollution," *Environmental Health Perspectives*, 2010.vol. 118, No. 8, pp. 1126–1136.
24. Jeng H. A., "Chemical composition of ambient particulate matter and redox activity," *American Journal of Physiology Lung Cell Molecular Physiology*, 2007.vol. 293, pp. 170–181.
25. Halliwell B *Antioxidants in human health and disease*. London: Annu Rev Nutrition, 1996. (16:33-50).
26. Kelly F. *Oxidative stress: its role in air pollution and adverse health effects*. *Occup Environ Med*,(2003). (60: 612-616).
<http://oem.bmj.com/cgi/content/extract/60/8/612>
27. Téllez J, Rodríguez A y Fajardo A. Contaminación por Monóxido de Carbono: un Problema de Salud Ambiental. Departamento de Toxicología, Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Colombia. 2006. *Rev. Salud Pública* 8(1): 108-117.
28. Wold L. E., Simkhovich B. Z., Kleinman M.T. et al. "In vivo and vitro models to test the hypothesis of particle-induced effects on cardiac function and arrhythmias", *Cardiovascular Toxicology*, 2006. Vol 6, no 1, pp. 69-78.

Tabla 1. Características de los niños escolares sin el diagnóstico de asma incluidos en el estudio.

Variable	No Asmáticos						Valor p*
	León (N=87)			Salamanca (N=78)			
% masculino	51.7			51.3			0.955
Edad (mediana, p25,75, años)	9.0	8.0	9.0	9.0	8.0	9.0	0.286
Talla (mediana, p25, 75, cm)	133.0	129.0	138.0	133.5	128.0	140.0	0.906
Peso (mediana, p25, 75, Kg)	30.0	27.0	37.0	30.0	27.0	35.0	0.370
Índice de masa corporal (mediana, p25, 75, kg/m ²)	16.9	15.3	19.8	17.0	15.6	18.1	0.325

*Prueba de comparación de medianas Kruskal Wallis.

Tabla 2. Características de los niños escolares con el diagnóstico de asma incluidos en el estudio.

Variable	Asmáticos						Valor p*
	León (N=61)			Salamanca (N= 88)			
% masculino	63.9			62.5			0.858
Edad (mediana, p25,75, años)	9.0	8.0	11.0	9.5	9.0	10.0	0.309
Talla (mediana, p25, 75, cm)	136.0	128.0	143.0	140.0	133.0	147.0	0.017
Peso (mediana, p25, 75, Kg)	32.0	27.0	42.0	36.0	30.0	43.0	0.044
Índice de masa corporal (mediana, p25, 75, kg/m ²)	16.7	15.1	20.6	18.3	16.6	20.3	0.151

*Prueba de comparación de medianas de Kruskal Wallis.

Tabla 3. Datos de contaminación atmosférica y variables climatológicas durante el periodo de estudio.

Variables	León			Salamanca			Valor p*
	Mediana	p25	p75	Mediana	p25	p75	
Ozono (O3) (ppb)	56.7	42.5	87.4	36.4	29.5	38.0	0.000
Dióxido de Azufre (SO2) (ppb)	23.2	17.0	30.0	29.3	21.7	41.6	0.000
Monóxido de Carbono (CO) (ppm)	2.9	2.4	3.9	3.7	2.7	4.6	0.000
PM ₁₀ (µg/m ³)	150.8	76.7	208.4	198.0	144.2	186.9	0.000
PM _{2.5} (µg/ m ³)	58.7	57.7	59.3	70.0	17.0	105.4	0.025
Temperatura °C	16.4	12.7	19.1	14.9	13.3	16.8	0.871
Velocidad del viento (m/s)	1.0	0.92	1.9	0.5	0.29	1.1	0.000
Dirección del viento (°)	218.1	172.9	275.1	219.8	193.6	246.6	0.089

PM_{2.5}: partículas menores a 2.5 mm de diámetro, PM₁₀ partículas menores a 10 mm de diámetro. *Prueba de comparación de medianas de Kruskal Wallis. La n para la Ciudad de León varía de 46 a 148 observaciones por la presencia de datos faltantes en los contaminantes. La n para Salamanca varía de 77 a 162 observaciones por la presencia de datos faltantes en los contaminantes.

Tabla 4. Niveles sanguíneos de los Biomarcadores* estudiados en niños escolares participantes del estudio.

Biomarcadores	No Asmáticos							Valor p [%]	Asmáticos						Valor p [%]
	León (N=87)			Salamanca (N=78)			León (N=61)			Salamanca (N=88)					
	Mediana	p25	p75	Mediana	p25	p75	Mediana		p25	p75	Mediana	p25	p75		
Dienos conjugados [#]	2.4	2.1	2.7	2.4	2.1	2.6	0.335	2.8	2.5	3.1	2.6	2.3	3.0	0.039	
Lipohidroperóxido ^{&}	36.0	32.6	40.5	37.5	35.2	42.6	0.056	41.4	35.4	50.4	42.2	38.4	46.1	0.818	
Malondialdehido [#]	39.8	35.2	45.4	43.5	37.1	49.7	0.009	40.3	33.9	46.2	47.3	39.9	54.5	0.000	
Carbonilos ⁺	5.6	5.2	6.3	4.9	4.7	5.6	0.000	6.0	5.3	6.4	4.8	4.5	5.2	0.000	

* Promedio de 2 mediciones, [#]pmol/mg peso seco, [&]nmol/mg peso seco, ⁺nmol ozonas/mg proteína. [%]Prueba de comparación de medianas de Kruskal Wallis.

Tabla 5. Asociación entre la exposición a contaminantes atmosféricos y marcadores de estrés oxidativo* en niños escolares de Guanajuato, México.

Variables		León				Salamanca			
		Asmáticos		No asmáticos		Asmáticos		No asmáticos	
		Coefficiente	Valor p						
Dienos conjugados									
PM _{2.5}	Lag 2	-0.000	0.671	-0.114	0.111	-0.088	0.680	0.265	0.093
PM ₁₀	Lag 1	-0.263	0.175	0.132	0.577	0.085	0.034	0.004	0.562
CO	Mismo día	0.007	0.954	0.083	0.011	0.133	0.099	-0.124	0.101
Lipohidroperóxidos									
O ₃	Mismo día	2.020	0.571	-3.098	0.166	4.377	0.028	-1.853	0.500
PM ₁₀	Lag 2	-4.478	0.234	-3.292	0.304	2.306	0.013	0.043	0.946
Malondialdéhido									
O ₃	Mismo día	0.013	0.995	-1.257	0.486	7.990	0.050	-6.179	0.273
	Lag 2	-3.367	0.228	4.176	0.155	5.678	0.025	-0.382	0.624
PM _{2.5}	Mismo día	0.294	0.261	-0.120	0.836	8.752	0.024	0.972	0.722
	Lag 1	-0.186	0.532	0.165	0.836	9.547	0.024	1.945	0.757
	Lag 2	0.109	0.703	0.154	0.836	12.199	0.003	-1.326	0.700
PM ₁₀	Mismo día	4.214	0.186	-1.580	0.280	1.580	0.043	1.409	0.008

Carbonilos

PM _{2.5}	Mismo día	0.085	0.053	0.085	0.053	-0.265	0.168	0.000	0.972
PM ₁₀	Mismo día	-0.527	0.145	0.658	0.000	0.043	0.363	0.043	0.563

Los coeficientes fueron calculados por cada incremento en el rango intercuartil (RI) del máximo de 24 horas de cada contaminante, RI PM_{2.5} en León 1.6 µg/m³ y 88.4 µg/m³ en Salamanca, RI PM₁₀ en León de 131.7 µg/m³ y en Salamanca 42.7 µg/m³, RI CO en León 1.5 ppm y en Salamanca 1.9 ppm y RI Ozono en León 44.9 ppb y en Salamanca 8.5 ppb. Todos los modelos fueron ajustados por índice de masa corporal, sexo, edad y temperatura de un día anterior. *Promedio de 2 mediciones, [#]pmol/mg peso seco, [&]nmol/mg peso seco, ⁺nmol ozonas/mg proteína. La n varía de 24 a 86 observaciones para los modelos por la presencia de datos faltantes.

Exposición a contaminantes atmosféricos y función pulmonar en niños escolares de Salamanca y León, Guanajuato.

Ana Teresa Romero Calderón¹, Hortensia Moreno Macías², Joel David Francisco Manrique Moreno¹, Horacio Riojas Rodríguez³, Yesica Dorín Torres Ramos⁴, Juan José Hicks Gómez⁴, Benigno Linares Segovia⁵, Beatriz Cárdenas⁶, Claudia Bárcenas⁷, Albino Barraza Villarreal³.

¹Instituto de Salud Pública del Estado de Guanajuato, Guanajuato, México

²Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, D.F. México,

³Instituto Nacional de Salud Pública, Cuernavaca, México.

⁴ Instituto Nacional de Perinatología “Isidro Espinosa de los Reyes”, D.F. México.

⁵Universidad de Guanajuato, Campus León, Guanajuato, México

⁶Dirección General del Centro nacional de Investigación y Capacitación Ambiental, D.F., México.

⁷ Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato, Salamanca, Guanajuato, México.

Autor correspondiente: Albino Barraza Villarreal, Salud Ambiental, Instituto Nacional de Salud Pública. Teléfono: 52 (777) 1012981, Fax: 52 (777) 1012933, correo electrónico: abarraza@correo.insp.mx

Palabras clave: Contaminación atmosférica, función pulmonar, escolares, asmáticos.

RESUMEN:

Antecedentes: El impacto de la exposición a contaminantes atmosféricos sobre el deterioro en la salud respiratoria de niños escolares, ha sido reportada en diferentes estudios, sin embargo, son pocos las investigaciones realizadas en el interior del país que evalúen el impacto en la función pulmonar en niños, considerando diferentes escenarios de exposición y acordes a las características de estas ciudades. **Objetivo:** Evaluar el impacto de la exposición a contaminantes atmosféricos sobre la función pulmonar en niños escolares de Salamanca y León, Guanajuato México. **Métodos:** Como parte del estudio de cohorte tipo panel que se está realizando en León y Salamanca Gto, se realizó el presente análisis transversal, en donde se incluyeron a 314 niños en edad escolar; 148 niños en la Ciudad de León y 166 en Salamanca, Gto., de los cuales 149 niños fueron asmáticos y 165 niños no asmáticos entre 7 a 12 años. Se realizaron pruebas de espirometría y se aplicó un cuestionario de salud. En cuanto a la exposición se obtuvo información sobre contaminantes atmosféricos (O_3 , SO_2 , CO , $PM_{2.5}$ y PM_{10}) de las estaciones de monitoreo fijas, localizadas en ambas ciudades y se corrieron modelos de regresión lineal múltiple para la evaluación de la asociación. **Resultados:** La mediana de edad de la población no asmática fue de 9 años para ambas ciudades y de 9 y 9.5 años en niños asmáticos para León y Salamanca, respectivamente. La mediana de los parámetros pulmonares (FEV_1 , FVC , FEF_{25-75}) fueron similares entre los niños no asmáticos de ambas ciudades ($p > 0.05$), y más altos en los niños asmáticos de Salamanca ($p < 0.05$). En cuanto a las mediciones de los contaminantes la mediana del máximo de 24 hrs de ozono fue de 56.7 y 36.4 ppb y de 58.7 y 70.0 $\mu g/m^3$ para el máximo de 24 hrs de $PM_{2.5}$ en León y Salamanca, respectivamente. Los principales hallazgos relacionados con la exposición a contaminantes atmosféricos sobre la disminución en la función pulmonar, se observaron en la población no asmática de Salamanca y León, Gto, respectivamente derivada de la exposición a CO y PM_{10} principalmente ($p < 0.05$). **Conclusiones:** Los resultados de la presente investigación apoyan la hipótesis de que la exposición a contaminantes atmosféricos favorecen la disminución de la función pulmonar en niños escolares, sobre todo en niños sin el diagnóstico de asma, lo que brinda mayor peso a la evidencia.

Introducción.

Los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud respiratoria han sido reportados ampliamente en la literatura ^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8} siendo los niños escolares con asma los mayormente susceptibles ^{9, 10, 11}. Sin embargo, la mayoría de los resultados publicados en México, provienen de estudios de la Capital del País ¹², siendo muy pocas las investigaciones que se han realizado en otras ciudades del interior que den respuesta a problemas locales. Las ciudades de León y Salamanca, son ciudades progresistas y de las más importantes del estado de Guanajuato, localizadas en el centro del país; que actualmente han tenido un gran crecimiento demográfico e industrial ^{13, 14}, situación que ha contribuido con el incremento de la contaminación atmosférica derivada de diferentes fuentes. Por tal motivo, y como consecuencia de esta situación, estas ciudades se han colocado en el centro de atención de sus habitantes, los cuales han manifestado su preocupación por los posibles efectos que pudieran desencadenar en la salud estos incrementos. En ese sentido, se planteo el continuar con las investigaciones considerando escenarios con características diferentes de las grandes metrópolis, y que dieran respuesta a las preocupaciones de la población, lo cual es muy importante en salud pública. Debido a esto, realizamos la presente investigación con el objetivo de evaluar el impacto de la exposición a contaminantes atmosféricos sobre la función pulmonar en niños escolares residentes de las Ciudades de León y Salamanca, Guanajuato, México, ciudades del interior de nuestro país que actualmente enfrentan serios problemas de contaminación ambiental.

Material y Métodos.

Diseño y población de estudio: Como parte de un estudio de cohorte tipo panel que se esta realizando actualmente en las Ciudades de Salamanca y León, Guanajuato, México, se realizó el presente análisis transversal, en el cual se incluyeron a 314 niños escolares (149 asmáticos y 165 no asmáticos) entre el rango de edad de 7 a 12 años. La selección de los niños escolares se realizó por conveniencia mediante la invitación para su participación en el estudio. En cuanto a la selección de los niños asmáticos se realizó considerando un listado proporcionado por los hospitales del sector público en donde se encontraban registrados los niños con diagnóstico de asma, tanto para León como para Salamanca; y para la selección de los niños escolares sin el diagnóstico de asma, se

seleccionaron, invitando a participar a un compañero que asistía a la misma escuela del niño asmático. Se informó sobre el estudio a los padres de los niños, a los cuales se les invitó a participar previo consentimiento informado. A los niños participantes también se les pidió expresaran su consentimiento de participar en el estudio. El protocolo fue aprobado por los comités de Ética, Bioseguridad e investigación del Instituto Nacional de Salud Pública.

Área de estudio. La presente investigación se realizó en las Ciudades de León y Salamanca Gto, y este reporte corresponde a la recolección de la información de la primera etapa del estudio que se realizó de septiembre 2010 a mayo de 2011. Estas ciudades son de las más importantes y progresistas del estado de Guanajuato y actualmente experimentan problemas de contaminación ambiental derivados de diferentes fuentes. La ciudad de León, Guanajuato; ocupa el primer lugar en el estado en aporte de contaminantes totales, siendo los vehículos automotores los que mayormente contribuyen con la contaminación, señalando que cerca de 350 mil que circulan en la ciudad¹⁵ y cerca del 92.1% de las emisiones de los contaminantes provienen de estas fuentes, siendo las concentraciones de monóxido de carbono las que mayormente se emiten a la atmósfera¹⁶. Por otro lado, la ciudad de Salamanca, ocupa el primer sitio en el estado en la emisión de SO₂, destacando que las principales fuentes generadoras de emisiones de contaminantes de este tipo están representadas por la Termoeléctrica de la Comisión Federal de Electricidad y la refinería "Ing. Antonio M. Amor" de Pemex, ya que cerca del 52.3% de las emisiones son derivadas predominantemente de la refinación de petróleo y el 33.7% por la generación de electricidad¹⁷.

Recolección de información: Se aplicó un cuestionario (adaptado de los instrumentos de encuestas ya existentes y utilizados en estudios anteriores), en donde se recopiló información sobre el estado de salud de cada uno de los niños participantes, información sobre variables socio demográficas, historia de salud previa y exposición ambiental en interiores (humo de tabaco, insecticidas, polvo intramuros, uso de tipos de combustibles, ventilación). Toda esta información se recopiló para cada uno de los niños participantes de acuerdo a la ciudad de residencia.

Variables dependientes de interés (Función pulmonar):

Se realizaron pruebas de función pulmonar mediante espirometría utilizando un equipo portátil, Easy-one, DDn, Technopark Zurich Switerlan, y siguiendo los criterios de la Sociedad Americana de Tórax (ATS) 1994 ¹⁸. Todas las pruebas fueron realizadas por personal capacitado y entrenado. Este equipo integra criterios de aceptabilidad, reproducibilidad, con mensajes que facilitan la obtención de buenas espirometrías. Se obtuvo los parámetros de capacidad vital forzada (FVC), volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV₁), relación FEV₁/FVC % y flujo espiratorio forzado entre 25% y 75% de la capacidad vital forzada (FEF₂₅₋₇₅). Se emplearon valores de referencia de Hankinson y colaboradores, para México-Americanos y de Pérez Padilla ¹⁹ y colaboradores, para niños mexicanos. Las mediciones fueron realizadas 5 veces en promedio y se seleccionó la prueba que cumpliera con los mejores criterios de aceptabilidad y reproducibilidad para su inclusión en el análisis.

Evaluación de la exposición: Los datos de contaminantes atmosféricos (O₃, SO₂, CO, PM_{2.5} y PM₁₀); además de las variables meteorológicas (temperatura, velocidad del viento y humedad) se obtuvieron de las estaciones fijas de monitoreo a cargo del Instituto de Ecología de Guanajuato. Las redes de monitoreo de contaminantes se encuentran en cada una de las ciudades participantes, ambas ciudades cuentan con tres estaciones de monitoreo fijas ubicadas en distribución triangular, la Ciudad de Salamanca cuenta con Nativitas, Cruz Roja y DIF y así mismo la Ciudad de León con CICEG, Hospital T-21 del IMSS (Instituto Mexicano de Seguridad Social) y Facultad de Medicina. Se obtuvieron datos de los contaminantes y datos meteorológicos para todos los días del periodo de estudio. Para la asignación de la exposición se georeferenció el hogar y la escuela de cada niño y mediante un sistema de información geográfica (SIG) se asignó al niño el máximo de la concentración de 24 horas de cada contaminante, derivado de la estación de monitoreo más cercana a su hogar o escuela, considerando que los sitios no estuviesen a una distancia mayor de 5 Km.

Análisis estadístico: Las características básicas de la población estudiada fueron comparadas mediante análisis bivariado utilizando pruebas no paramétricas (Kruskal Wallis). Se evaluaron las características de las concentraciones y variables

meteorológicas para el periodo del estudio y la correlación entre cada uno de los contaminantes para cada ciudad y entre ciudades mediante pruebas de correlación de spearman. Se utilizó el máximo de 24 horas de cada contaminante para evaluar la exposición, incluyendo la evaluación del mismo día, así como la de 1 o 2 días de retraso; es decir se selecciono el día en que se realizó la espirometría y se asignó la exposición de ese día, así como la concentración de 1 o 2 días previos para la evaluación de la asociación. Se corrieron modelos de regresión lineal múltiple para la evaluación de la asociación entre la exposición a los contaminantes atmosféricos (O₃, SO₂, CO, PM_{2.5} y PM₁₀) y la disminución de la función pulmonar, ajustando por sexo, índice de masa corporal (IMC) y temperatura mínima de un día anterior. Asimismo y desde el diseño del estudio, se consideró la evaluación de la asociación de acuerdo a la característica del niño, con el propósito de evaluar la posible modificación del efecto por la presencia de asma o no asma y de esta manera determinar el efecto diferenciado por cuestiones de susceptibilidad, así como por lugar de residencia. El modelo teórico fue el siguiente:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \dots + \beta_n \cdot X_n + E$$

Donde: Y es la variable respuesta de interés, β_0 es la ordenada al origen, $\beta_{1\dots n}$ los coeficientes de regresión, $X_{1\dots n}$, las variables independientes y E el error de la estimación. Todo el análisis estadístico se realizó utilizando el software STATA versión 10.

Resultados:

Características de la población y parámetros pulmonares: la tabla 1 y 2 presenta las características de la población estudiada. La proporción de niños no asmáticos y asmáticos participantes fue del 59% y 47% y del 41% y 53%, en León y Salamanca, respectivamente. No observamos diferencias estadísticamente significativas para la edad, talla, peso e índice de masa corporal entre los niños asmáticos y no asmáticos participantes y entre cada ciudad. De acuerdo a los datos, la mediana de edad de los niños no asmáticos participantes fue 9 años en ambas ciudades y de 9 y 9.5 años para los niños asmáticos de León y Salamanca, respectivamente. El 51% de los participantes escolares no-asmáticos fueron del sexo masculino en ambas ciudades y el 64% y 63%

de los participantes asmáticos de León y Salamanca, fueron del sexo masculino, respectivamente. En cuanto a los parámetros pulmonares los resultados observados no fueron estadísticamente diferentes entre los niños no asmáticos para ambas ciudades (Tabla 1). La mediana en los parámetros de función pulmonar fueron más altos en los niños asmáticos de Salamanca, Guanajuato ($p < 0.05$) versus León (Tabla 2).

Datos de exposición de contaminantes atmosféricos.

Los resultados de los contaminantes se muestran en la tabla 3. La mediana del máximo de ozono (O_3) de 24 hrs fue de 56.7 y 36.4 ppb en la ciudad de León y Salamanca respectivamente, la mediana en el máximo de 24 hrs de ($PM_{2.5}$) fue 58.70 y 70.00 $\mu g/m^3$ en León y Salamanca. La mediana de las partículas de hasta 10 micrómetros en tamaño (PM_{10}) fue de 150.70 y 198.0 $\mu g/m^3$ en León y Salamanca para el periodo de estudio. En general se observaron diferencias estadísticamente significativas en la concentraciones entre ambas ciudades para los contaminantes (SO_2 , CO, $PM_{2.5}$ y PM_{10}) incluidos en la presente investigación y para el periodo de estudio ($p < 0.05$). No se observaron correlaciones estadísticamente significativas entre las concentraciones de ozono y las partículas ($p > 0.05$) para la Ciudad de León. Por otro lado, se observó una correlación negativa entre el bióxido de azufre y las $PM_{2.5}$ en la Ciudad de Salamanca, sin embargo no fue estadísticamente significativa. Finalmente, se observó una correlación muy baja entre el CO y las PM_{10} y una correlación alta entre el ozono y las PM_{10} en la ciudad de Salamanca (datos no mostrados), lo que comprueba las posibles diferencias entre las principales fuentes de los contaminantes para cada ciudad. En cuanto a los datos climatológicos, estos igualmente se presentan en la tabla 3.

Asociación entre la función pulmonar y los contaminantes atmosféricos.

Los resultados encontrados relacionados con la asociación entre los parámetros de la función pulmonar y los contaminantes atmosféricos se muestran en la Tabla 4. Los modelos fueron ajustados por índice de masa corporal (IMC), sexo, edad y temperatura mínima del día anterior. La disminución en los parámetros de función pulmonar fue asociada significativamente con la exposición al monóxido de carbono (CO) y el material particulado de diámetro menor a 10 mm (PM_{10}) en la población no asmática de ambas ciudades, principalmente. Se observó una disminución en la capacidad vital forzada en la población no asmática de Salamanca de -203.3 ml para el mismo día de la exposición a monóxido de carbono ($p = 0.040$) y se encontró una disminución del FVC

de -138.0 ml en niños no asmáticos de León por un día de retraso de la exposición a este mismo contaminante ($p= 0.028$), por cada incremento en el rango intercuartil de 1.9 ppm. No se observaron efectos para niños asmáticos en ambas ciudades.

Discusión:

Los resultados de la presente investigación muestran que la disminución en la función pulmonar en niños escolares mexicanos estuvo asociada con la exposición a contaminantes atmosféricos, siendo la exposición al monóxido de carbono y material particulado PM_{10} principalmente. Este efecto fue observado de manera significativa en los niños sin el diagnóstico de asma, resultado que es muy importante en salud pública, ya que los resultados sobre el impacto de la exposición a contaminantes atmosféricos han sido mayormente observados en población susceptible, tal como lo son los niños asmáticos^{20, 21, 22, 23}. En la presente investigación, el decremento más importantemente asociado con los contaminantes atmosféricos fue la disminución en la capacidad vital forzada (FVC) y el flujo espiratorio forzado entre el 25 y 75% de la capacidad vital forzada (FEF_{25-75}), lo cual es consistente con los resultados encontrados en estudios previos relacionados con el deterioro en la función pulmonar y la exposición aguda a los contaminantes atmosféricos. Barraza-Villarreal y colaboradores reportaron que por cada incremento en el rango intercuartil de carbón elemental, la capacidad vital forzada disminuyó -105 ml y el $FEF_{25-75\%}$ -142 ml en los niños no asmáticos, equivalente al 6 y 6.2 %, respectivamente, lo cual es consistente con nuestros hallazgos.

Un importante hallazgo derivado de la presente investigación, fue la asociación inversa encontrada entre la exposición a monóxido de carbono y la función pulmonar, resultado que a nuestro conocimiento es de los primeros reportados en nuestro país y derivados de un estudio realizado en ciudades del interior, lo que puede ser más indicativo de que las ciudades de la provincia de México, tienen fuentes y características propias y no necesariamente experimentan niveles o concentraciones de algunos contaminantes que son los más prevalentes de las grandes ciudades, tales como el ozono y las partículas respirables.

En ese sentido, el posible mecanismo del efecto encontrado derivado de la exposición al monóxido de carbono (CO), puede ser explicado por el alto potencial oxidante de este contaminante, ya que el CO se une a la hemoglobina aproximadamente 220 veces con

mayor intensidad que el oxígeno y esto desencadena una serie de reacciones negativas²⁴ que terminan en el establecimiento de un proceso inflamatorio de las vías aéreas, lo que favorece la disminución de la capacidad pulmonar¹², reflejada en el deterioro de la capacidad vital forzada y la disminución en el FEF₂₅₋₇₅ que son parámetros muy importantes y que son indicativos de un proceso restrictivo a nivel de vías aéreas pequeñas. Adrian G. Barnett²⁵ encontró que por cada incremento de 0.9 ppm de CO, se incrementaron de manera significativa los ingresos hospitalarios por enfermedades cardiovasculares y respiratorias. Asimismo, otros estudios han demostrado el impacto negativo de la exposición al monóxido de carbono sobre el aumento de la presión arterial en adultos y niños²⁶.

Por otro lado, la asociación no encontrada entre la exposición a estos contaminantes y su impacto en la función pulmonar en niños asmáticos, fue una sorpresa para nosotros, y probablemente sea indicativo de un buen control de la enfermedad por un lado o bien porque para algunas de las mediciones de contaminantes reportadas para el periodo de estudio y que han sido mayormente asociados en estudios anteriores, las concentraciones fueron bajas y desafortunadamente no se contó con la información completa de algunos contaminantes para el periodo de estudio, lo que afectó el tamaño de muestra y el poder del estudio, tal como la medición de las partículas PM_{2.5}, y el dióxido de nitrógeno que han sido inversamente asociadas con el deterioro en la función pulmonar²³ de manera significativa.

Por otro lado, es importante considerar algunas limitantes al momento de interpretar nuestros resultados, en primer lugar la limitación de la asignación de la exposición, ya que esta fue basada en los informes diarios de las estaciones fijas de monitoreo localizadas en cada ciudad, lo que puede causar errores de clasificación, ya que se asume que la variación temporal en la contaminación atmosférica derivada de las mediciones de la rama, siguen el mismo patrón en cada niño independientemente de su ubicación y patrón de actividad; sin embargo la exposición fue asignada mediante la georeferenciación del domicilio o escuela del niño, lo que brinda mayor variabilidad a los datos y se tomó en consideración que la distancia entre el monitor y el sitio de residencia del niño no fuera mayor a 5 km. En segundo lugar, la falta de datos para algunos contaminantes durante el periodo de estudio, especialmente para las mediciones de PM_{2.5} lo que puede afectar el poder del estudio y las asociaciones encontradas y el no

contar con la información sobre la especiación de partículas, que brinde mayor soporte a los hallazgos y que nos permita identificar con mayor certidumbre las diferencias encontradas en las concentraciones de acuerdo a las principales fuentes de cada ciudad. Por último, la posibilidad de un sesgo de confusión por la falta de evaluación de algunos factores que pudieran influir en la exposición, tal como el nivel socioeconómico; o bien algunos otros factores que pudieran estar relacionados con la disminución de la función pulmonar, sin embargo, esto es poco probable porque los niños provienen de una misma zona de estudio y asisten a escuelas públicas, por lo que comparten un nivel socioeconómico similar y por otro lado el haber restringido desde el diseño, la participación de escolares con alguna enfermedad preexistente más allá del asma, reducen la posibilidad de un sesgo de confusión que pudiera alterar los resultados.

Conclusiones:

Nuestros resultados preliminares muestran que la disminución en los parámetros de la función pulmonar en la población no asmática de ambas ciudades está asociada con la exposición aguda a los contaminantes atmosféricos. Resultados que tienen un importante impacto en salud pública; lo que obliga al establecimiento de estrategias para prevenir, controlar y mitigar la magnitud de los efectos; ya que las concentraciones de los contaminantes atmosféricos en León y Salamanca se ha incrementado en los últimos tiempos. Sin embargo es recomendable continuar con las investigaciones, que permitan identificar de forma temprana los efectos de la contaminación en la salud de la población y brinden mayor soporte a los resultados encontrados.

Referencias.

1. Castillejos et al, 1995. Gauderman et al 2007;. Moshhammer et al 2006;. Romieu et al, 1997, 1998, Svendsen et al 2007)
2. Castillejos M, Gold D, Dockery D, Tosteson O, Baum O, Speizer E. Effects of ambient ozone on respiratory function and symptoms in MexicoCity. *Am Rev. Respir. Dis.* et al1992, 145: 276-282.
3. Gauderman WJ, Vora H, McConnell R, Berhane K, Gilliland F, Thomas D, et al.. Effect of exposure to traffic on lung development from 10 to 18 years of age: a cohort study. 2007. *Lancet* 369(9561):571-577.
4. Moshhammer H., Hutter H. P., Hauck H., Neuberger M. Low levels of air pollution induce changes of lung fuction in a panel of school children. *Eur*, 2006. *Respir J.* 27:1138-1143
5. Romieu I, Meneses F, Ruiz S, Huerta J, Sienna JJ, White MC. Effects of intermittent ozone exposure on peak expiratory flow and respiratory symptoms among asthmatic children in Mexico City. *Arch Environ Health.* 1997. 52: 368-76
6. Romieu, I., Meneses, F., Ruiz, S., Sienna, J.J., Huerta, J., White, M. and Etzel, R. Effects of Air Pollution on the Respiratory Health of Asthmatic Children living in Mexico City, *Am J Respir Crit Care Med.* 1996. Vol. 154. pp 300-307, 1996
7. Svendsen K, Sjaastad AK, Sivertsen I. Respiratory symptoms in kitchen workers. *Am J Ind Med* 2003; 43: 436-439
8. Leonardi GS, Houthuijs D, Steerenberg PA, Fletcher T, Armstrong B, Antova T. Immune biomarkers in relation to exposure to particulate matter: a cross-sectional survey in 17 cities of Central Europe. *Inhal Toxicol.* 2000. 12:1-14
9. Romieu I, Sienna-Monge JJ, Ramírez-Aguilar M, Moreno-Macías H, Reyes-Ruiz NI, Estela del Río-Navarro B. Genetic polymorphism of GSTM1 and antioxidant supplementation influence lung function in relation to ozone exposure in asthmatic children in Mexico City. 2004. *Thorax* 59:8-10
10. Romieu I, Meneses F, Ruiz S, Sienna J, Huerta J, White M. Effects of air pollution on the respiratory health of asthmatic children living in Mexico. City. *Am J Respir Crit Care* 1996; 154:300-307
11. Ward DJ, Ayres JG. Particulate air pollution and panel studies in children: a systematic review. *Occup Environ Med.* 2004. 64:e13.

12. Castillejos M, Gold D, Dockery D, Tosteson D, Baum, D, Speizer E. Effects of ambient ozone on respiratory function and symptoms in Mexico. City schoolchildren. *Am Rev Respir Dis* 1992; 145:276-282.
13. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo de Población y vivienda 2005. México: 2005. Censos de Población y Vivienda
14. Gobierno del Estado. Dirección General de Economía del Ayuntamiento de León. 2006
15. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo de Población y vivienda 2005. México: 2010. Censos de Población y Vivienda
16. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Julio 2007. Diccionario de datos de uso del suelo y vegetación (Vectorial). México: Bases de Datos Geográficos. (Inventario de Emisiones Guanajuato, Instituto de Ecología del Estado, 2006
17. Instituto Estatal de Ecología. *Inventario de Emisiones Guanajuato 2006*. Guanajuato, México. 2007.
18. American Thoracic Society. Standardization of spirometry, 1994 update. *Am J Respir Crit Care Med* 1995;152:1107-1136
19. Pérez-Padilla J.R., Regalado-Pineda J., Vázquez-García J.C., Reproducibilidad de espirometrías en trabajadores mexicanos y valores de referencia internacionales. *Salud pública Méx.* 2001. V.43 n.2 Cuernavaca mar./abr.
20. Brook RD, Franklin B, Cascio W, Hong Y, Howard G, Lipsett M, *et al.* Air pollution and cardiovascular disease. A statement for healthcare professionals from the Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association. *Circulation.* 2004; 109: 2655–2671.
21. Li N., Sioutas C., Cho A., Schmitz D., Misra C., Sempf J., *et al.* Ultrafine particulate pollutants induce oxidative stress and mitochondrial damage. *Environ Health Persp.* 2003; 111: 455-460.
22. Routledge HC., Ayres JG. Air pollution and the heart. *Occup Med.* 2005; 55: 439-447
23. Barraza-Villarreal A, Sunyer J, Hernandez-Cadena L, Escamilla-Nuñez M, Sienna-Monge J, Ramírez-Aguilar M, Cortez-Lugo M, Holguin F, Diaz-Sánchez D, Carin Olin A, and Romieu I, Air Pollution, Airway Inflammation, and Lung Function in a Cohort Study of Mexico City Schoolchildren. *Environmental Health Perspectives.* June 2008. Vol. 116 , número 6 .

24. Pope CA, Dockery Dw, Kanner RE, Villegas GM, Schwartz J. Oxygensaturation, pulse rate, and particulate air pollution: A daily time- series panel study. *Am J Respir Crit Care Med* 1999; 159:365-372).
25. Barnett A. G., Williams G. M., Schwartz J., Neller A. H., Petroeschevsky A.L. and Simpson R. W. The Effects of Air Pollution on Hospitalizations for Cardiovascular Disease in Elderly People in Australian and New Zealand Cities. PMC 2011 June 29. Published in final edited form as : 2010 June 29; 121(25): 2755–2765.
26. Hirsch T, Weiland SK, von Mutius E, Safeca AF, Gräfe H, Csaplovics E, et al. Inner city air pollution and respiratory health and atopy in children. *Eur Respir J*. 1999;14(3):669-77. DOI: 10.1034/j.1399-3003.1999.14c29.x

Tabla 1. Características sociodemográficas y de principales parámetros pulmonares en niños escolares sin asma incluidos en el estudio.

Variable	No Asmáticos						Valor p*
	León (N=87)			Salamanca (N=78)			
% masculino	51.7			51.3			0.955
Edad (mediana, p25,75, años)	9.0	8.0	9.0	9.0	8.0	9.0	0.2862
Talla (mediana, p25, 75, cm)	133.0	129.0	138.0	133.5	128.0	140.0	0.9064
Peso (mediana, p25, 75, Kg)	30.0	27.0	37.0	30.0	27.0	35.0	0.3703
Índice de masa corporal (p25, 75, kg/m ²)	16.9	15.3	19.8	17.0	15.6	18.1	0.3251
FEV ₁ (ml)	1.7	1.5	1.9	1.7	1.5	1.9	0.717
FVC (ml)	2.0	1.7	2.3	2.0	1.8	2.3	0.785
FEF ₂₅₋₇₅ (ml)	1.9	1.5	2.4	2.0	1.5	2.5	0.637

*Prueba de comparación de medianas de Kruskal Wallis.

Tabla 2. Características sociodemográficas y de principales parámetros pulmonares en niños escolares con asma incluidos en el estudio.

Variable	Asmáticos						Valor p*
	León (N=61)			Salamanca (N= 88)			
% masculino	63.9			62.5			0.858
Edad (mediana, p25,75, años)	9.0	8.0	11.0	9.5	9.0	10.0	0.309
Talla (mediana, p25, 75, cm)	136.0	128.0	143.0	140.0	133.0	147.0	0.017
Peso (mediana, p25, 75, Kg)	32.0	27.0	42.0	36.0	30.0	43.0	0.044
Índice de masa corporal (p25, 75, kg/m ²)	16.7	15.1	20.6	18.3	16.6	20.3	0.151
FEV ₁ (ml)	1.7	1.4	2.1	1.9	1.6	2.1	0.046
FVC (ml)	2.2	1.8	2.7	2.3	1.9	2.7	0.226
FEF ₂₅₋₇₅ (ml)	1.7	1.2	2.0	1.9	1.5	2.3	0.009

*Prueba de comparación de medianas de Kruskal Wallis.

Tabla 3 . Datos de contaminación atmosférica y variables climatológicas durante el periodo de estudio.

Variables	León			Salamanca			Valor p*
	Mediana	p25	p75	Mediana	p25	p75	
Ozono (O ₃) (ppb)	56.7	42.5	87.4	36.4	29.5	38.0	0.000
Dióxido de Azufre (SO ₂) (ppb)	23.2	17.0	30.0	29.3	21.7	41.6	0.000
Monóxido de Carbono (CO) (ppm)	2.9	2.4	3.9	3.7	2.7	4.6	0.000
PM ₁₀ (µg / m ³)	150.8	76.7	208.4	198.0	144.2	186.9	0.000
PM _{2.5} (µg / m ³)	58.7	57.7	59.3	70.0	17.0	105.4	0.025
Temperatura °C	16.4	12.7	19.1	14.9	13.3	16.8	0.871
Velocidad del viento (m/s)	1.0	0.92	1.9	0.5	0.29	1.1	0.000
Dirección del viento (°)	218.1	172.9	275.1	219.8	193.6	246.6	0.089

PM_{2.5}.: partículas menores a 2.5 mm de diámetro, PM₁₀ partículas menores a 10 mm de diámetro. *Prueba de comparación de medianas de Kruskal Wallis. La n de León varía de 46 a 148 observaciones por la presencia de datos faltantes en algunos contaminantes. La n de Salamanca varía de 77 a 162 observaciones por la presencia de datos faltantes en algunos de los contaminantes estudiados.

Tabla 4. Asociación entre la exposición a contaminantes atmosféricos y los parámetros de la función pulmonar en niños escolares de Salamanca y León, Guanajuato, México.

Parámetros	Función Pulmonar	León				Salamanca			
		Asmáticos		No asmáticos		Asmáticos		No asmáticos	
		Coefficiente	Valor p						
Capacidad Vital Forzada (FVC, ml)									
CO	Mismo día	-1.50	0.989	-	-	-13.30	0.847	-203.30	0.040
	Lag 1	-	-	-138.00	0.028	-13.30	0.905	28.50	0.814
Flujo espiratorio forzado entre el 25% y 75% de la Capacidad Vital Forzada (FEF₂₅₋₇₅, ml)									
PM ₁₀	Mismo día	-	-	-263.40	0.018	-42.70	0.405	42.70	0.467
	Lag 2	-	-	-	-	-11.07	0.794	-34.23	0.379

Los coeficientes fueron calculados por cada incremento en el rango intercuartil (RI) del máximo de 24 horas de cada contaminante, RI PM₁₀ en León de 131.7 µg/m³ y en Salamanca 42.7 µg/m³, RI CO en León 1.5 ppm y en Salamanca 1.9 ppm. Todos los modelos fueron ajustados por índice de masa corporal, sexo, edad y temperatura de un día anterior. La n para León varía de 54 a 87 observaciones por la presencia de datos faltantes, la n para Salamanca varía de 69 a 87 observaciones por la presencia de datos faltantes.

Conclusiones

Nuestros resultados preliminares muestran que el incremento en los niveles plasmáticos de los marcadores de estrés oxidativo está asociado con la exposición aguda a los contaminantes atmosféricos, así como la disminución en los parámetros de la función pulmonar en la población no asmática de ambas ciudades. Los principales contaminantes que causan preocupación desde el punto de vista de Salud Pública han sido el ozono y el material particulado. Llama la atención el hallazgo de asociación significativa entre la exposición a monóxido de carbono y el incremento en los niveles de malondialdéhido y dienos conjugados en niños sanos en León, Gto. Existe evidencia experimental que la relación de efectos adversos por este contaminante es principalmente en órganos oxígeno dependientes como el cerebro y el corazón. Se tiene en cuenta que el monóxido de carbono es uno de los mayores contaminantes de la atmósfera, derivado de los vehículos automotores, y que es una de las fuentes que mayormente aporta a la contaminación atmosférica en la ciudad de León, Gto.

Los resultados tienen un importante impacto en salud pública ya que las concentraciones de los contaminantes atmosféricos en León y Salamanca se han venido incrementado en los últimos tiempos. Sin embargo, es recomendable continuar con las investigaciones, que permitan una mayor identificación de los efectos de forma temprana en la población y brinden mayor soporte a los hallazgos y que a su vez favorezcan el planteamiento de estrategias de prevención, control y mitigación de la magnitud de los efectos

De acuerdo con el enfoque de Salud Pública (Winslow CEA, 11920.) que es prevenir las enfermedades, prolongar la vida por medio de la promoción de la salud a través de los esfuerzos organizados y decisiones con conocimiento de los actores: la sociedad, las organizaciones, públicas y privadas, comunidades e individuos; es necesario difundir esta información entre todos los actores y tomadores de decisiones, con el objeto de poder promover una redirección de las políticas públicas de manera más integral; para lograr la participación conjunta en soluciones de reducción y mitigación de riesgos, y lograr establecer medidas de impacto en la mejora del medio ambiente para beneficio de la calidad de vida de la población.

Algunas perspectivas en base a los resultados obtenidos, donde es conveniente incidir:

1. La regulación de las emisiones de los contaminantes, sobre los valores actuales de las concentraciones de los contaminantes, incidir en la reglamentación para poder considerar los niveles de las concentraciones de los contaminantes criterios. Ya que las concentraciones de los contaminantes atmosféricos en León y Salamanca se ha incrementado en los últimos tiempos.
2. Por parte del Sector Salud es necesario lograr la participación de las personas en su autocuidado, y que por medio de la promoción de la salud, se empodere a los actores para que se puedan tomar decisiones con conocimiento y evidencia. Ejemplo la alimentación y el índice de masa corporal.
3. Que los actores, de parte de las fuentes emisoras de contaminación con fundamento en el conocimiento de las evidencias científicas de efecto a la salud por la contaminación, realicen las acciones correctivas y preventivas necesarias para mitigar y evitar la exposición a la población.
4. En Educación es necesaria una coordinación de comunicación con las escuelas y prever el horario de salida al aire libre a realizar ejercicio los niños; además de informar de las acciones que pueden realizar para su autocuidado.
5. Es recomendable promover continuar con las investigaciones, que permitan identificar de forma temprana los efectos de la contaminación en la salud de la población; mediante la participación de las Instituciones Educativas y de Investigación.
6. Orientar el desarrollo local y regional de manera que garantice una calidad de vida digna. Esto es lograr equilibrio entre crecimiento socioeconómico y cuidado al medio ambiente.
7. Que los médicos conozcan los resultados para que puedan sugerir tratamientos.
8. Otro actor, periódico, televisión y radio, es importante su participación como medios de difusión con información y evidencia.

Es importante señalar que las estrategias y políticas públicas que se puedan generar dependerán de la información contundente que posea el actor para que pueda tomar decisiones. Sin embargo es importante reiterar que la promoción de salud como parte de la Salud Pública es preservar y promover la salud de la población, debe fortalecerse y se sugiere un Programa de participación multidisciplinaria, PROSALUD, para mejora de la calidad de la salud; donde se puede llevar a la mesa estrategias de promoción de

hábitos saludables donde la población informada, pueda tomar decisiones para evitar riesgos de exposición y cuidar su salud.