

# **PM<sub>10</sub> y O<sub>3</sub> como factores de riesgo de mortalidad por enfermedades cardiovasculares y neumonía en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México.**

**Figueroa Montaña, A<sup>1</sup>, Davydova-Belitskaya V., Garibay Chávez, G.,  
Parada Gallardo, T., Orozco-Medina, M. G<sup>2</sup>**

*Fecha de recepción: 30 de julio de 2016 – Fecha de aprobación: 17 de octubre de 2016*

## **RESUMEN:**

Diversas investigaciones en diferentes localidades urbanas en México y en el mundo, han documentado que los eventos críticos por contaminación atmosférica se asocian a enfermedades respiratorias y cardiovasculares, en atención a lo cual, se presenta este estudio que contribuye al conocimiento de las tendencias de PM<sub>10</sub> y O<sub>3</sub> en la Zona Metropolitana de Guadalajara en base a la modificación 2014 de las normas para estos contaminantes, se hace una asociación con registros de enfermedades por neumonía en la población. Los resultados del estudio mostraron una buena relación funcional entre el número de violaciones a la norma de O<sub>3</sub> con la mortalidad por neumonía, además de una clara tendencia a la alza en el número de veces que se exceden los valores estándar para este contaminante a lo largo de la serie de tiempo analizada. De forma particular se detectó un 49 % de mortalidad por neumonía en relación al número de veces al año que se exceden los valores normados para el contaminante O<sub>3</sub>. Para PM<sub>10</sub> el número de violaciones a la norma mostró una clara tendencia a la baja, aunque por encima del promedio anual del 40 µg/m<sup>3</sup> referente al promedio anual. Las estadísticas obtenidas de la relación entre las enfermedades cardiovasculares dan cuenta de un aumento de mortalidad de un 30 al 40 % por exposición crónica a contaminantes como PM<sub>10</sub> y O<sub>3</sub>.

**Palabras clave:** Contaminación del Aire, Mortalidad, PM10, Ozono, Guadalajara

# **PM<sub>10</sub> and O<sub>3</sub> pollution as a hazard of cardiovascular and pneumonia mortality in the Metropolitan Zone of Guadalajara, Jalisco, México.**

## **ABSTRACT:**

A well number of investigations performed at different cities in Mexico and other cities of the world agreed that high pollution episodes relate to respiratory and cardiovascular diseases. In attention of such findings this study provides knowledge to PM<sub>10</sub> and O<sub>3</sub> trends base on the 2014 updated standards. This new approach complies with specific and homogenous procedures that are defined both in the Manual of Management of Air quality Data and current modification of the official PM<sub>10</sub> and O<sub>3</sub> levels. The aim of the study was to evaluate how violations of PM<sub>10</sub> and O<sub>3</sub> relate to total mortality of cardiovascular and pneumonia. The results of study showed a good functional relationship between the number of times O<sub>3</sub> standard exceeds threshold level and records of pneumonia mortality. Besides an increasing trend of the number of episodes above standardized O<sub>3</sub> concentrations. PM<sub>10</sub> violations events showed a decreasing trend, although such figures were never bellow the specified annual mean of 40 µg/m<sup>3</sup>. The statistical analysis of the relationship of cardio-respiratory diseases made evident a mortality increase of about 30% to 40% due to chronic exposure to above fixed standards for PM<sub>10</sub> and O<sub>3</sub> concentrations.

**Key words:** Air pollution, mortality, PM10, ozone, Guadalajara city

<sup>1</sup> Departamento de Física. Universidad de Guadalajara, arturo.figueroa@cucei.udg.mx

<sup>2</sup> Autor de correspondencia: martha.orocho@cucba.udg.mx

Este artículo de investigación es parte de Ingeniería–Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Ing. R.A. Vol. 20, No. 1, 2016.

## **INTRODUCCIÓN**

En ciudades mexicanas al igual que en otras ciudades del mundo, las partículas menores a 10 micras ( $PM_{10}$ ) y el ozono ( $O_3$ ), representan el mayor problema de contaminación atmosférica por sus consecuencias a la salud (Riojas-Rodríguez et al. 2014). En este sentido, esta contribución analiza los niveles que marcan las normas de calidad del aire para  $PM_{10}$  y  $O_3$ , y estudia la posible relación con registros de mortalidad por enfermedades cardiovasculares y neumonías.

Los criterios de calidad del aire en México, se emitieron en el año de 1982 y permanecen vigentes hasta el año de 1994, cuando se emiten las normas oficiales mexicanas para calidad del aire de contaminantes criterio. En noviembre de 1993, en Guadalajara, inicia operaciones la Red Automática de Monitoreo Atmosférico, la cual estaba integrada por ocho estaciones distribuidas en cinco zonas de la ciudad y es hasta 1996 que se cuenta con datos más sistemáticos de monitoreo atmosférico. A la par de éste esfuerzo la Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, (SEMARNAP) en coordinación con autoridades locales y con apoyo de sector empresarial, académico y no gubernamental elaboran el Programa para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana de Guadalajara 1997-2013, en el que se emiten 32 medidas, para pasar de un 70% de días fuera de norma a un 50%, y con ello reducir eventos de contingencia atmosférica (Gobierno del Estado de Jalisco 1997, Davydova-Belitskaya & Skiba 1999).

Es hasta 2014 que las normas para  $PM_{10}$  y  $O_3$  tienen un cambio significativo en atención a las recomendaciones científicas y a lo sugerido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Secretaría de Salud 2014a, Secretaría de Salud 2014b,).

A manera de contexto, es importante hacer mención que en 1992 en la Agenda 21, se acordaron acciones con gran impacto a nivel internacional para la protección de los recursos naturales según reportó la Unión de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sustentable (1992), derivado de esto, se han realizado un sinnúmero de acuerdos, decretos y tratados, los cuales hasta la fecha siguen posicionando la calidad del aire como un problema prioritario. Otro documento destacable es El Plan de Acción Regional de Cooperación Intergubernamental en materia de Contaminación Atmosférica para América Latina y el Caribe, que presenta información relevante en la que se cita como la mala calidad del aire afecta a millones de personas en las ciudades, los riesgos más graves son debido a la exposición a material particulado (PM) y  $O_3$ . En este mismo contexto informan que los

costos de la contaminación atmosférica rondan el 1% del PIB en las naciones según datos del Banco Mundial, y hacen estimaciones en que el aire exterior para el año 2050 podría ser la principal causa ambiental de muerte (UNEP 2014).

Diversas investigaciones presentan evidencias de que la contaminación atmosférica ha aumentado en los últimos años (Wong et al. 2002, Harrison & Yin, 2000, Brauer et al 2012). En las ciudades del mundo se siguen presentando episodios críticos de contaminación atmosférica por arriba de los valores normativos (Romero et al. 2006). Las altas concentraciones de  $PM_{10}$ ,  $O_3$ , partículas suspendidas, dióxidos de azufre y óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, entre otros suponen riesgos latentes que atentan contra la calidad ambiental, el bienestar y la salud de los habitantes en las ciudades (Brauer et al. 2012).

En términos generales, las partículas están formadas por un núcleo de carbono y por compuestos orgánicos e inorgánicos, adheridos a su superficie, además se clasifican por el tamaño de la partícula, y por tal situación se depositan en diferentes zonas del aparato respiratorio dependiendo de su diámetro, causando así respectivas afectaciones. La mayoría de los estudios apuntan a que el mayor impacto en la salud por partículas, lo originan compuestos altamente tóxicos y carcinogénicos como el carbono elemental, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), sulfatos, nitratos y determinados metales (As, Cd, Fe, Zn y Ni). (Tchounwou et al. 2012).

Enfermedades alérgicas respiratorias tales como rinitis y asma bronquial parecen estar aumentando en todo el mundo, y se ha observado que afectan más a las personas que viven en ciudades (Peters et al. 1999, Riojas-Rodríguez et al. 2012). Estudios de laboratorio confirman datos epidemiológicos, en donde la inhalación de algunas sustancias contaminantes, afectan negativamente la función pulmonar en asmáticos y parecen aumentar la frecuencia e intensidad de los síntomas en pacientes alérgicos. Se presentan daños en la mucosa de las vías respiratorias y alteración mucociliar inducida por contaminación del aire, lo que facilita el acceso de alérgenos inhalados a las células del sistema inmune (D'Amato 2002). De igual forma se ha reportado una asociación positiva entre  $PM_{10}$  y tres causas de mortalidad: respiratoria total, cardiovascular total y cardiopulmonares, en personas mayores de 65 años. (Riojas-Rodríguez et al. 2014).

Otros investigadores, estudiaron que pequeñas exposiciones a  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en pacientes asmáticos

inciden en el incremento en el nivel de citosinas TH2, diferenciación de linfocitos B y producción de Inmunoglobulina (IgE), por lo que la exposición por vivir en zonas de elevado tráfico aumenta el riesgo de sensibilización a alérgenos en personas sanas. La exposición a largo plazo a niveles altos de PM<sub>2.5</sub> se asocia significativamente a hospitalizaciones por neumonía adquirida, mientras que la exposición a PM<sub>10</sub> durante los meses de verano se asocia con mayores síntomas de apnea obstructiva y menor saturación de oxígeno durante el sueño (Pope III et al. 2002).

La Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer, declara que se cuenta con suficiente información, respecto a la relación causal entre la exposición al material particulado y el cáncer en los humanos, y lo cataloga como carcinógeno del Grupo 1 (IARC, 2013).

Estudios realizados en México sobre la composición de partículas, encontraron vanadio, cobre y níquel, y lo relacionan con posibles daños a nivel cerebral en respuesta a procesos inflamatorios en jóvenes, así como alteraciones en estructura cerebral en niños y alteraciones a sistema inmune (Bremauntz 2005). Otras evidencias han reportado incrementos en biomarcadores de inflamación en vías respiratorias por la exposición a partículas (Riojas-Rodríguez 2006). En otra investigación que se analizó la exposición a partículas con contenido de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), se encontró asociación con daño oxidativo a nivel de las células del cerebro, pudiendo agravar padecimientos como Alzheimer y Parkinson. (Block y Calderón-Garcidueñas 2009).

En cuanto a O<sub>3</sub> es un gas altamente irritante y oxidante, el daño que se produce derivado de la exposición daña las mucosas. Las altas concentraciones de ozono afectan la calidad de vida de personas con enfermedades preexistentes y el incremento en las tasas de morbilidad y mortalidad por algunas enfermedades cardiopulmonares, cardiovasculares, respiratorias y cerebrovasculares. También se ha demostrado deterioro en la función pulmonar, cefaleas, alteraciones en el sistema inmunológico y disfunción respiratoria (Romieu et al. 2009).

Se ha reportado que cerca del 50% de la población escolar en zonas donde las concentraciones de O<sub>3</sub> son elevadas (0.130-0.220 ppm), los estudiantes llegan a faltar al menos 1 vez cada 3 meses, debido a alguna afección respiratoria; y cerca del 11.7% falta en dos o más ocasiones. (Romieu et al 2012).

Se observó que la exposición de O<sub>3</sub> a corto plazo dentro de un periodo de 1 a 2 días se relaciona con eventos coronarios agudos en adultos de mediana edad sin enfermedad cardíaca (González 2013).

Concentraciones cercanas a 0.050 ppm han favorecido un incremento del 43% al 133% en las visitas a consultas de urgencias por exacerbaciones de asma en población infantil de 1 a 4 años. Asimismo, en concentraciones de 0.040-0.050 ppm, se reportó un aumento del 19.1% - 35% en hospitalizaciones por enfermedades respiratorias agudas en menores de 2 años. Una investigación realizada en la Ciudad de México en menores de 15 años, concluyó que por cada incremento de 0.050 ppm en la concentración diaria de ozono, las consultas de urgencias aumentan hasta un 9.9% al día siguiente de la exposición durante el periodo invernal (Romieu et al. 1995).

Para atender los problemas de contaminación en la ciudad se han tomado algunas medidas de gestión ambiental, las cuales han sido paulatinas, van desde el cambio de combustibles, ajustes en las vialidades, ampliación el sistema de monitoreo, conservación de algunos espacios verdes, y seguimiento de acciones a través de comités interinstitucionales (Gobierno del Estado de Jalisco 1996, Gobierno del Estado de Jalisco 2012)

De forma específica, el Artículo 4 constitucional en México habla del derecho de toda persona a la protección de su salud, y a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. Se cuenta también con la Ley General de Salud que en diferentes artículos, indica que se deben tomar medidas por parte de las autoridades sanitarias, como normas, medidas y actividades para proteger la salud humana, los riesgos y los daños al ambiente, de ésta forma se definen valores de concentración de contaminantes máximos permisibles. (SS 2000)

Aun así, los cambios implementados son insuficientes, puesto que la contaminación sigue en aumento y los efectos potenciales a la salud continúan.

Sobre esta base documental se presenta este estudio que contribuye al conocimiento de las tendencias de PM<sub>10</sub> y O<sub>3</sub> en la Zona Metropolitana de Guadalajara, los cuales suponen una condición de riesgo que afecta la salud y el bienestar de los pobladores. Se hace una asociación con registros de enfermedades en la población, y se finaliza con un análisis crítico como base de una propuesta para su atención.

## **METODOLOGIA**

Los datos de PM<sub>10</sub> y O<sub>3</sub> fueron proporcionados por la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del Estado de Jalisco. La información corresponde a datos horarios del monitoreo continuo de las 8 estaciones que conforman el SIMAJ para el

periodo 1996-2009, en los municipios de Guadalajara, Zapopan, Tonalá y Tlaquepaque.

Los registros mensuales de mortalidad por enfermedades cardiovasculares y neumonía para el mismo periodo de tiempo, se obtuvieron del Sistema Nacional de Información en Salud, quien está a cargo de coleccionar, procesar y distribuir la información en salud que en el país se genera.

Con el propósito de contar con un base de datos confiable de por lo menos con un 75% de datos válidos se aplicaron las técnicas del análisis exploratorio para detectar datos erróneos, y posteriormente aplicar los procedimientos descritos en el Manual de Manejo de Datos de la Calidad del Aire publicado en el 2010 por el entonces Instituto Nacional de Ecología (INE, 2010).

La metodología empleada para la evaluación del cumplimiento a los criterios normados para  $PM_{10}$  y  $O_3$  se ajustó a los procedimientos descritos en la NOM-025-SSA1-2014 y NOM-020-SSA1-2014 respectivamente.

Finalmente se graficaron los resultados y las relaciones entre mortalidad y concentraciones de contaminación atmosférica por  $PM_{10}$  y  $O_3$ , se analizaron y discutieron los resultados para contar con una base científica que aporta información respecto a cómo los niveles de contaminación por dichos parámetros tienen una relación estadística con la mortalidad por enfermedad cardiovascular y en su tipo, es el primer estudio que documenta esta serie de tiempo con datos validados del Sistema de Monitoreo Atmosférico de Jalisco con la exigencia de análisis de la normatividad vigente.

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

Estudios recientes de la calidad del aire en la ZMG refieren niveles importantes de toxicidad de  $PM_{10}$  y  $O_3$ . El evento más crítico del que se tiene registro ocurrió en 1996 cuando los niveles de  $O_3$  rebasaron el entonces valor estándar de 0.110 ppm (NOM-020-SSAI-1994) en aproximadamente 270 días en el año (Davydova et al, 2001; Davydova et al, 2004). A pesar del desarrollo y la aplicación de programas de

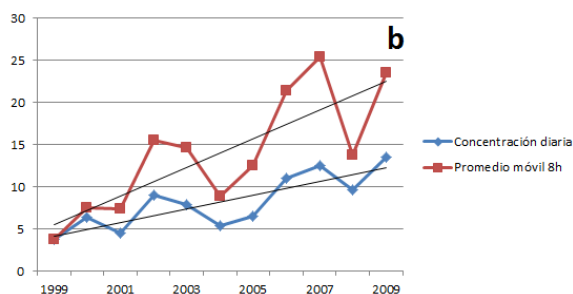
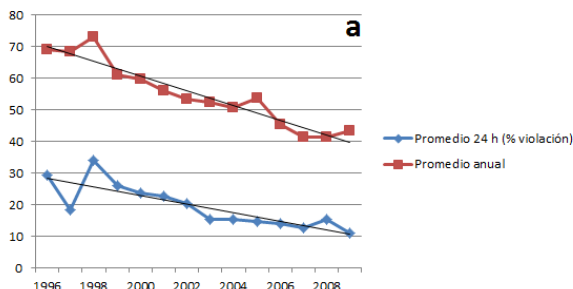
manejo de la calidad del aire, el número de veces en que se exceden los valores normados para estos contaminantes aún es alto y persisten como una amenaza para la salud cardiorrespiratoria de los habitantes y el medio ambiente.

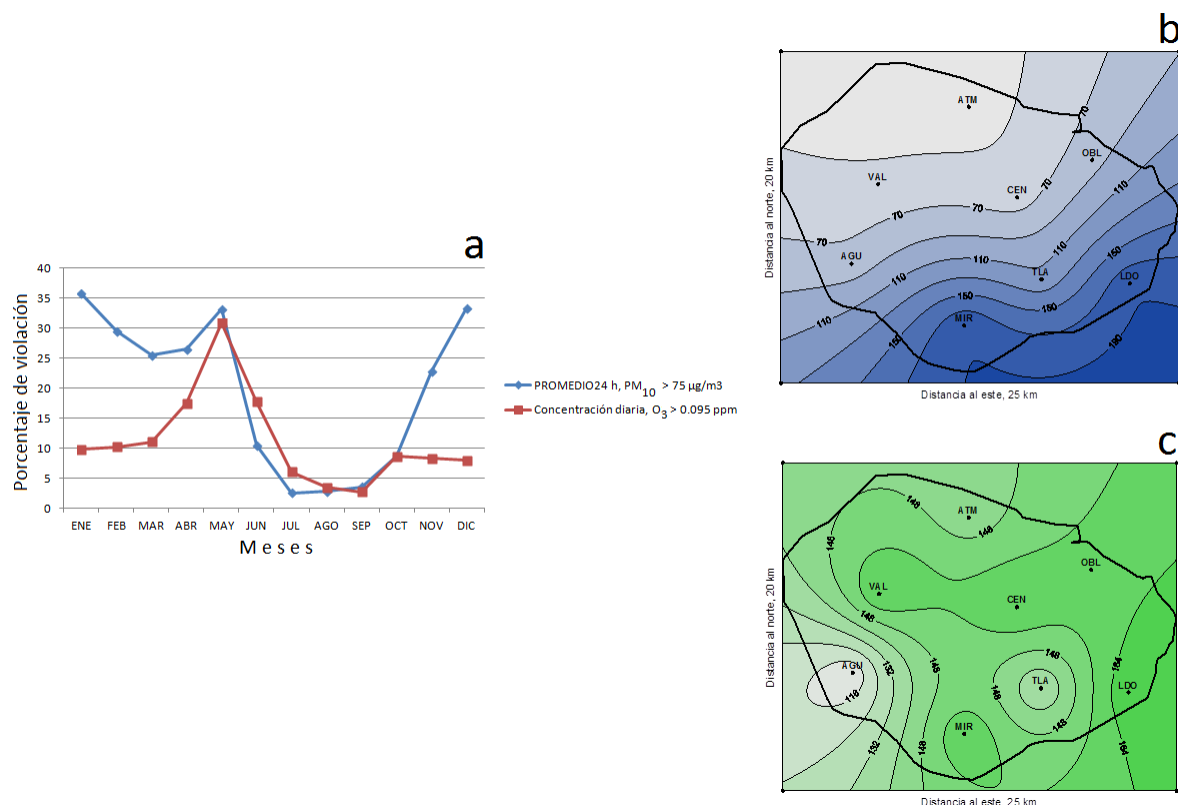
Del análisis de la serie de tiempo 1996-2009, se observa de manera general para todas las estaciones de la ZMG, una clara tendencia a la baja en el número de días que exceden el primer criterio de la NOM-025-SSA1-2014 (promedio 24 h  $\leq 75 \mu g/m^3$ ). Esta tendencia a la baja, es particularmente clara a partir de 1999, donde en promedio el porcentaje de violación a dicho criterio ocurre en un 26% de los días del año, para luego alcanzar un 11% en el 2009 (Figura 1a).

En relación al segundo criterio de la NOM-025-SSA1-2014 (promedio anual  $\leq 40 \mu g/m^3$ ) de forma semejante se observa una clara tendencia a la baja, aunque de manera histórica este nunca ha sido menor al valor normado. De esta tendencia destacan los años 1998 y 2005 como los años más secos y cálidos con ocurrencia de algunos incendios forestales de importancia como fue el caso del Bosque la Primavera en el 2005 (Figura 1a).

La contaminación por  $O_3$  en la ZMG destaca como el más problemático. La evaluación del cumplimiento de la NOM-020-SSA1-2014 en su primer criterio (concentración diaria  $\leq 0.095$  ppm) denota una clara tendencia a la baja a partir de 1996, en que de manera histórica se excedió el entonces valor estándar de 0.110 ppm (NOM-020-SSA1-1993) hasta en tres órdenes de magnitud debido a situación sinóptica que favoreció dicho evento.

A partir de 1999 el número de veces al año en que se excede el actual valor estándar va desde un 4% a 14%, en orden creciente. El segundo criterio de la norma (promedio móvil 8 h,  $\leq 0.070$  ppm) de forma similar observa el mismo comportamiento creciente con promedios móviles mayores al valor de referencia de entre un 4% a 25% (Figura 1b).





**Figura 1.** Tendencia de los valores normados para  $PM_{10}$  (a) y  $O_3$  (b).

**Figura 2.** Variación interanual de  $PM_{10}$  y  $O_3$  (a), así como su variación espacial en la ZMG (b) y (c) respectivamente.

La variación interanual de las excedencias a los valores normados de  $PM_{10}$  y  $O_3$  muestran el mayor porcentaje de violación durante el mes de mayo con un poco más del 30% de los días en este mes. De igual manera se observa para ambos contaminantes que el menor índice de violación a las normas respectivas ocurre una vez iniciadas las lluvias, en el mes de junio debido al lavado de la atmósfera por la precipitación y dispersión por los vientos que a estos eventos acompañan. Así el porcentaje de violación descende de manera abrupta alcanzando valores de entre un 19% a un 4% hasta el mes de septiembre (Figura 2a). El resto de los meses del año (septiembre-octubre) los contaminantes muestran un comportamiento antagónico muy marcado, con porcentajes de violación a la norma que alcanzan los valores presentes en la época seca y fría para  $PM_{10}$ . Respecto a la concentración diaria de  $O_3$ , los valores se mantienen constantes, pues en esta época la atmósfera no reúne las condiciones de foto-oxidación necesaria para que este contaminante se dispare.

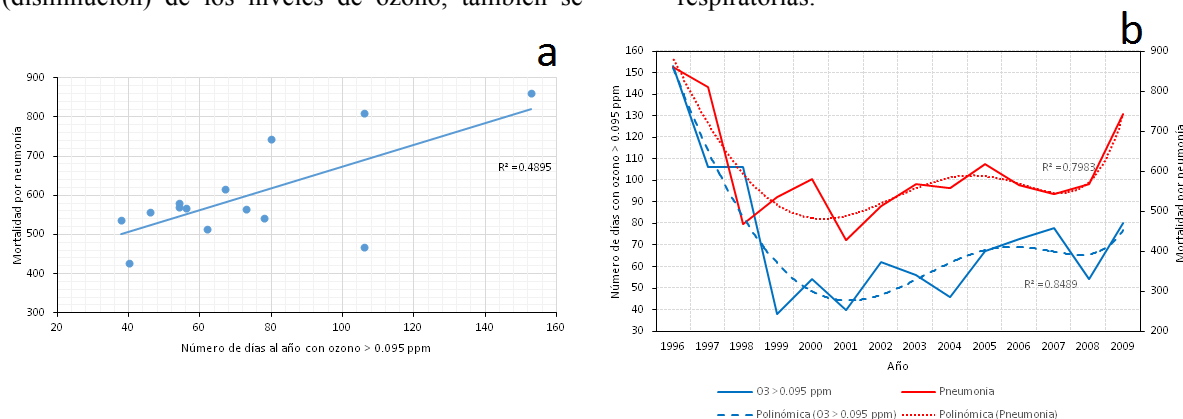
Las figuras 2b y 2c muestran de forma respectiva la distribución espacial de la frecuencia de violación a

los valores estándar para  $PM_{10}$  y  $O_3$ . En las estaciones de Tlaquepaque, Miravalle y Loma Dorada es donde con mayor frecuencia se superan los estándares de  $PM_{10}$ , pues en esta porción SE de la ZMG, es donde se concentran algunas industrias como la cementera y de transformación, así como la producción de alfarería y artesanías cuyos procesos de producción se caracterizan por la emisión de partículas (Figura 2b). Sin embargo para el  $O_3$ , la mala calidad del aire se encuentra más o menos distribuida de forma homogénea en toda la ZMG, aunque destaca la zona de la estación las Águilas en el SO con la menor frecuencia de violación al valor normado, esto debido al patrón de vientos dominantes.

En la figura 3 se muestra la relación entre la mortalidad por enfermedades respiratorias y la exposición a los niveles crónicos de ozono como contaminante. La figura 3a, presenta los resultados de un modelo de regresión simple el que explica hasta un 49 % de mortalidad por enfermedades respiratorias agravada por la exposición crónica a niveles de ozono ya que alrededor de 250 días al año los niveles de ozono están por arriba de lo que marca la norma. En

la figura 3b. se puede observar que ante el aumento (disminución) de los niveles de ozono, también se

incrementa (decrece) la mortalidad por enfermedades respiratorias.



**Figura 3.** Mortalidad por neumonía en relación al primer criterio de la NOM-020-SSA1-2014 (concentración diaria > 0.095 ppm): Correlación entre la mortalidad total anual por neumonía y el número de días que exceden el valor normado (a), y relación funcional entre el comportamiento interanual de mortalidad por neumonía y comportamiento interanual del número de días al año que exceden el valor normado de  $O_3$  (b).

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el estudio de variabilidad climática,  $O_3$ ,  $PM_{10}$ , para el mismo periodo aquí analizado, se destacan datos como los de los años 1998, 2002, 2003 y 2005 en el que se incrementaron las temperaturas para los meses del periodo cálido, (abril-junio); así como algunos incrementos en muertes por neumonía (Parada 2012). Estudios como éste marcan un precedente de la utilización de metodologías específicas para el análisis de datos de la calidad del aire, lo cual deja en evidencia la necesidad de sistematizar la forma de manejar los datos de calidad del aire a nivel nacional, para facilitar comparaciones de estudios que se realicen en éste ámbito, también denota la necesidad de que exista al menos un 75% de información válida para poder evaluar el cumplimiento a la normatividad vigente y los impactos en la salud.

En función de los insumos que se utilizaron para la realización de la presente investigación, se observó que únicamente 3 estaciones de las 8 que conforman la red de monitoreo, cuentan con información válida y suficiente para evaluar el cumplimiento a la normatividad vigente y así poder contar con elementos para extrapolar los datos para evaluar los efectos en la salud de la población.

La zona conurbada de Guadalajara, como la segunda ciudad más importante de México en cuanto a la actividad económica, número de habitantes y extensión territorial entre muchos otros elementos, no cuenta con suficientes resultados de proyectos de investigación, que informen el estado en que se encuentran los niveles de contaminación atmosférica en función de los efectos a la salud y con ello se dificulta la implementación de medidas de atención

que respondan a una condición adecuadamente caracterizada.

Probablemente las concentración de partículas ha disminuido por algunos aspectos relacionados con la infraestructura urbana, como la pavimentación, la presencia de lluvias y el viento y áreas verdes, sin embargo el Ozono, se ha mantenido y se ha incrementado y esto preocupa puesto que los efectos a la salud por exposición a Ozono, al ser un gas altamente tóxico, influyen de manera significativa en la salud y calidad de vida de los habitantes de la ciudad.

Al haber encontrado severas dificultades en cuanto a la calidad de la información, sobresalen carencias como la falta de monitoreo, tales como el caso de que la estación Oblatos dejó de funcionar 4 años (2002-2005), por ende la información que se genera es mala. Se detectaron valores desproporcionados como algunos de temperatura. No hay un ente oficial encargado de presentar los datos con un procedimiento formal, se sospecha de que únicamente se capturan o se registran los datos y no existe un método de validación. Con el protocolo de manejo de los datos de la calidad del aire que editó el INE en el 2010, se cuenta con un procedimiento que subsana de alguna manera las limitaciones que tienen las bases de datos y se aspira a contar con procesos sistematizados que faciliten la comparación, análisis y desarrollo de modelos.

No se pudo detectar información entre la exposición aguda y la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, debido a que no se tienen disponibles las estadísticas de mortalidad diaria. Se hace evidente la necesidad de que se cuente con

información disponible equiparable entre los datos de salud y de contaminación, el máximo rango de datos de salud disponible al que se pudo acceder es de promedios mensuales y en registros de contaminantes, se cuenta con rango de horas.

En este proyecto se destaca que las estadísticas obtenidas de la relación entre las enfermedades cardiovasculares y respiratorias como la neumonía, dan cuenta de un aumento de mortalidad de un 30 al 40 % por exposición crónica a contaminantes como PM<sub>10</sub> y O<sub>3</sub>, en particular se detectó un 49 % de mortalidad por neumonía asociada a la exposición a ozono, lo cual coincide con resultados obtenidos en otros países, por ejemplo: Canadá reporta alrededor de un 33% y hasta 40 % en Estados Unidos (Cheng, et al., 2008) (Bell, McDermott, Zeger, Samet, & Dominici, 2004) (Chen y Kan, 2008)

Esta contribución representa un hallazgo para la localidad en específico de la Zona Metropolitana de Guadalajara, respecto los niveles de contaminación y sus tendencias en periodos de tiempo significativos con relación al promedio de vida de las personas y

poder estimar así exposiciones crónicas. Con el manejo de la información obtenida y las dificultades que ofrecieron los datos, sus carencias y la falta de rigurosidad en los reportes, se hace evidente la necesidad de que una urbe de tales dimensiones, características e importancia económica, cuente con un equipamiento para el monitoreo atmosférico mucho más moderno, sofisticado y eficiente, dada la magnitud del problema y las consecuencias que le está significando a la salud de la población.

Al observar las limitaciones en la base de datos del sistema de monitoreo atmosférico, se recomienda que se generen datos con mayor calidad y exigencia en cuanto a lo sistemático, robusto y eficiente de la serie de datos que se reportan.

Se recomienda hacer las gestiones necesarias para que el gobierno federal, el estatal, los municipios y el sector industrial, coadyuven en mejorar el sistema de monitoreo atmosférico y en lo que compete al sector salud, se trabaje en conjunto con las instancias ambientales, para poder generar bases de datos que sean equiparables para generar resultados más contundentes en cuanto a los efectos de la contaminación en la salud de los habitantes.

## **REFERENCIAS**

- Bell, M. L., McDermott, A., Zeger, S. L., Samet, J. M., & Dominici, F. (2004). Ozone and short-term mortality in 95 US urban communities, 1987-2000. *Jama*, 292(19), 2372-2378.
- Block ML, Calderón-Garcidueñas L. (2009). Air pollution: mechanisms of neuroinflammation and CNS disease. *Trends in neurosciences*, 32(9), 506-516.
- Bremauntz, A. F., Bracho, L. R., & Cervantes, M. G. T. (2005). Las partículas suspendidas en tres grandes ciudades mexicanas. *Gaceta ecológica*, (74), 15-28.
- Brauer M, Amann M, Burnett RT, Cohen A, Dentener F, Ezzati M,... Donkelaar A. (2012). Exposure assessment for estimation of the global burden of disease attributable to outdoor air pollution. *Environmental science & technology*, 46: 652-660.
- Chen B, & Kan H. (2008). Air pollution and population health: a global challenge. *Environmental health and preventive medicine*, 13(2), 94-101.
- Cheng, MF, Ho S C, Chiu HF, Wu TN, Chen PS, & Yang CY. (2008). Consequences of exposure to Asian dust storm events on daily pneumonia hospital admissions in Taipei, Taiwan. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 71(19), 1295-1299.
- D'Amato G. (2002). Environmental urban factors (air pollution and allergens) and the rising trends in allergic respiratory diseases. *Allergy*, 57: 30-33.
- Davydova-Belitskaya, V., Y.N. Skiba, S.N. Bulgakov, y A. Martínez (1999). Modelación matemática de los niveles de contaminación en la ciudad de Guadalajara, Jalisco, México. Parte I. Microclima y monitoreo de la contaminación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 15 (2): 103-111.
- Davydova-Belitskaya, V., Y.N. Skiba, A. Martínez y S.N. Bulgakov, (2001). Modelación matemática de los niveles de contaminación en la ciudad de Guadalajara, Jalisco, México. Parte II. Modelo numérico de transporte de contaminantes y su adjunto. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 17 (2): 97-107.
- Davydova-Belitskaya, V. (2004). "Microclima y situación ecológica de la zona metropolitana de Guadalajara". En *Ecología urbana en la zona metropolitana de Guadalajara*. Guadalajara: Ágata, pp. 35-60.

Gobierno del Estado de Jalisco, Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca y Secretaría de Salud. (1996). Programa para el mejoramiento de la calidad del aire de la zona metropolitana de Guadalajara 1997-2001. México.

Gobierno del Estado de Jalisco, Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, Secretaría de Salud, (1997). Normas de Calidad del Aire y Salud Ambiental en Programa para el mejoramiento de la calidad del aire en la zona metropolitana de Guadalajara 1997-2001. Gobierno del Estado de Jalisco. Jalisco, México.

Gobierno del Estado de Jalisco, Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales, Secretaría de Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable. (2012). Programa para Mejorar la Calidad del Aire, Jalisco 2011-2010. México.

González N. (2013). Tendencias de los niveles de ozono y mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, en la Zona Metropolitana de Guadalajara. Tesis de Maestría. Guadalajara University. México.

Harrison RM, & Yin J. (2000). Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health?. *Science of the total environment*, 249: 85-101.

INE, Instituto Nacional de Ecología. (2010). Manual 5. Protocolo de Manejo de Datos de la Calidad del Aire. Disponible en

[http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/descarga.html?cv\\_pub=625&tipo\\_file=pdf&filename=625](http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/descarga.html?cv_pub=625&tipo_file=pdf&filename=625).

International Agency for Research on Cancer. (2013). IARC 221: Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths. WHO, IARC. France.

Parada, T., (2012). Tendencias de los niveles de ozono y mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, en la Zona Metropolitana de Guadalajara. Tesis de Maestría. Universidad de Guadalajara. Guadalajara . México.

Peters JM, Avol E, Navidi W, London S J, Gauderman W J, Lurmann F, ... Thomas DC. (1999). A study of twelve Southern California communities with differing levels and types of air pollution: I. Prevalence of respiratory morbidity. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 159: 760-767.

Pope III CA, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski DIK, & Thurston GD. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Jama*, 287: 1132-1141.

Riojas-Rodríguez H, Álamo-Hernández U, Texcalac-Sangrador JL, y Romieu, I. (2014). Health impact assessment of decreases in PM10 and ozone concentrations in the Mexico City Metropolitan Area: A basis for a new air quality management program. *Salud Pública de México*, 56(6), 579-591.

Riojas-Rodríguez H, Holguín F, González-Hermosillo A, Romieu I. (2006). Uso de la variabilidad de la frecuencia cardiaca como marcador de los efectos cardiovasculares asociados con la contaminación del aire. *Salud Pública de México* 48(4): 348-357.

Riojas-Rodríguez, H., Álamo, U., Texcalac-Sangrador, J., & Romieu, I. (2012). Estado del conocimiento sobre los efectos en la salud asociados a la contaminación del aire en la población de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. México: Instituto Nacional de Salud Pública.

Romero M, Diego F, Álvarez M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. Rev Cubana Hig Epidemiol* 2006; 44(2).

Romieu I, Barraza-Villarreal A, Escamilla-Núñez C, Texcalac-Sangrador JL, Hernandez-Cadena L, Díaz-Sánchez D. ... & Del Rio-Navarro BE. 2009. Dietary intake, lung function and airway inflammation in Mexico City school children exposed to air pollutants. *Respir Res*, 10(122), 8-36.

Romieu I, Meneses F, Sienra-Monge, JLL., Huerta J, Velasco, SR, White M. ., ... Hernandez-Avila M. (1995). Effects of urban air pollutants on emergency visits for childhood asthma in Mexico City. *American Journal of Epidemiology*, 141: 546-553.

Romieu I, Gouveia N, Cifuentes LA, de León AP, Junger W, Vera J, Strappa V, Hurtado-Díaz M, Miranda-Soberanis V, Rojas-Bracho L, Carbajal-Arroyo L, Tzintzun-Cervantes G. (2012). HEI Health Review Committee. Multicity study of air pollution and mortality in Latin America (the ESCALA study). *Res. Rep. Health Eff. Inst.* 171:5-86.

Secretaría de Salud. (2014a). Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014, Salud ambiental. Valores límite permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en el aire ambiente y criterios para su evaluación. Secretaría de Salud. México.

Secretaría de Salud. (2014b). Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2014, Salud ambiental. Valor límite permisible para la concentración de ozono (O<sub>3</sub>) en el aire ambiente y criterios para su evaluación. Secretaría de Salud. México.

Secretaría de Salud, SS (2016). Últimas modificaciones a la Ley General de Salud de 1984. [http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/legis/lgs/LEY\\_GENERAL\\_DE\\_SALUD.pdf](http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/legis/lgs/LEY_GENERAL_DE_SALUD.pdf).

Tiwary A. and Colls J. (2009). Air pollution: measurement, modelling & mitigation. Third edition, Boca Raton, US, CRC Press, 528pp.

Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK., & Sutton, DJ. (2012). Heavy Metals Toxicity and the Environment. EXS, 101, 133–164. [http://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4\\_6](http://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6)

United Nations Environment Programme. (2014). The regional Program, Action Plan of Intergovernmental Cooperation on Atmospheric Pollution for Latin America and the Caribbean. UNEP/LAC-IGWG.XIX/6.Rev.1.Los Cabos, México.

United Nations Sustainable Development, UNSD (1992). United Nations Conference on Environment & Development Rio de Janeiro, Brazil, 3 to 14 June 1992. Agenda 21 <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>

Wong TW, Tam WS, Yu TS, Wong AHS. (2002). Associations between daily mortalities from respiratory and cardiovascular diseases and air pollution in Hong Kong, China. Occupational and environmental medicine, 59(1), 30-35.

#### Reconocimientos

Agradecemos el apoyo de Secretaría de Salud del estado de Jalisco, por proporcionar información de salud, a la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del estado de Jalisco, por proporcionar información de Red de Monitoreo Atmosférico.

---

Este documento debe citarse como: Figueroa Montaña, A., Davydova-Belitskaya V., Garibay Chávez, G., Parada Gallardo, T., Orozco-Medina, M. G. (2016). **PM<sub>10</sub> y O<sub>3</sub> como factores de riesgo de mortalidad por enfermedades cardiovasculares y neumonía en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México.** Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 20-1, pp. 14-23.