

EVALUACIÓN DEL RIESGO POR CONTAMINANTES CRITERIO Y FORMALDEHÍDO EN LA CIUDAD DE MÉXICO

José Agustín GARCÍA-REYNOSO, Michel GRUTTER y Daniel CINTORA-JUÁREZ

Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, Ciudad Universitaria Coyoacán 04510, D.F. México

(Recibido septiembre 2006, aceptado septiembre 2007)

Palabras clave: riesgo ambiental, Ciudad de México, formaldehído, contaminación atmosférica

RESUMEN

Se elaboró un estudio de riesgo ambiental para la Ciudad de México sobre contaminantes criterio (O_3 , NO_2 , SO_2 y PM_{10}) y formaldehído (HCHO). La metodología utiliza en el caso de efectos no cancerígenos el índice de peligrosidad (IP), para el caso de efectos cancerígenos la probabilidad de cáncer en el tiempo de vida (R) y la pérdida de esperanza de vida (PEV). Estos estimados cuantitativos pueden aplicarse a otras ciudades, y tienen la capacidad de indicar que contaminantes pueden afectar a la salud a partir de las concentraciones medidas. Se encontró que el formaldehído es un compuesto importante en la degradación de la calidad del aire para la zona de estudio, teniendo un índice de peligrosidad de 3.4 en exposición crónica para la población con una probabilidad de riesgo de cáncer de 61.2×10^{-6} y una pérdida de esperanza de vida de 67 días. Por otra parte, el ozono representa el contaminante más influyente en el caso de exposición aguda ya que llega a tener un índice de peligrosidad mayor a 1 para algunas horas del día.

Key words: environmental risk, México City, formaldehyde, atmospheric pollution

ABSTRACT

An environmental risk assessment study for Mexico City on criteria pollutants (O_3 , NO_2 , SO_2 and PM_{10}) and formaldehyde (HCHO) is presented. The methodology for non-carcinogenic effects is based on the Hazard Index and for carcinogenic effects is based on the life cancer probability and life loss expectancy (LLE). These quantitative estimates, which can be applied in other cities, have the capability to indicate which pollutants can affect health based on measured concentrations. It was found that formaldehyde is an important compound in the air quality degradation. Its Hazard Index is 3.4 for chronic exposure, a life cancer probability of 61.2×10^{-6} and 67 days of lost of life expectancy. On the other hand ozone represents the most influential pollutant for acute exposure reaching a Hazard Index larger than 1 for some hours of the day.

INTRODUCCIÓN

La exposición prolongada a los contaminantes atmosféricos puede ser causa de varias afectaciones a la salud desde irritación hasta la muerte (Chen *et al.* 2007 y Theophanides *et al.* 2007). En particular esta exposición es importante en grandes zonas urbanas como la Ciudad de México, donde el 58.6 % de los días se presentan concentraciones mayores a los límites establecidos (SMA 2007). Las concentraciones de contaminantes atmosféricos son debidas a las actividades de transporte, de la industria y domésticas que generan 20,686 ton/año de partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀), 6,646 ton/año de bióxido de azufre (SO₂) 179,996 ton/año de óxidos de nitrógeno (NO_x) y 532,168 ton/año de compuestos orgánicos volátiles (IE 2004, SMA), se requiere estimar los efectos que éstos están ejerciendo en la población.

Los contaminantes criterio medidos en la Ciudad de México considerados en este estudio son ozono (O₃), bióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre (SO₂) y partículas (PM₁₀). En este trabajo se presenta un estudio donde se evalúa el riesgo por la exposición a estos contaminantes y al formaldehído (HCHO) en la Ciudad de México.

Los contaminantes criterio son sustancias que se liberan en grandes cantidades de gran variedad de fuentes y presentan un riesgo a la salud y bienestar humano en grandes regiones. El bióxido de azufre, el bióxido de nitrógeno, el monóxido de carbono, material particulado y ozono son los contaminantes criterio. Los efectos que causan estos contaminantes principalmente son agudos y no cancerígenos. De los efectos agudos, se ha identificado que el incremento en la concentración ambiental de partículas (PM₁₀) y ozono se encuentran relacionadas a un incremento en la tasa de mortalidad prematura (O'Neill *et al.* 2004a, b, De Pablo *et al.* 2006, Filleul *et al.* 2006, Ritz *et al.* 2006, Zhang *et al.* 2006).

El formaldehído (HCHO) es un compuesto reactivo considerado como tóxico atmosférico que posee efectos agudos (irritación) y crónicos (cáncer) a la salud y que se encuentra tanto en áreas rurales como urbanas (Satsumabayashi *et al.* 1995, Granby *et al.* 1997, Müller 1997, Viskari *et al.* 2000). El formaldehído, que es uno de los compuestos del humo del tabaco, se puede producir por reacciones de compuestos primarios (Finlayson-Pitts and Pitts 1986) pero también es emitido directamente por vehículos (Herdon *et al.* 2005) y por algunos procesos industriales (Carlier *et al.* 1986). Durante las mañanas en la Ciudad de México el formaldehído atmosférico proviene principalmente de fuentes primarias (como

los vehículos) mientras que a mediodía, la producción fotoquímica es la más importante (García *et al.* 2006). Se han realizado estudios donde se han medido las concentraciones ambientales de formaldehído en la Ciudad de México (Báez *et al.* 2002, 2003, Grutter *et al.* 2003, 2005), así como las concentraciones en interiores de edificaciones (Báez *et al.* 2004). Se ha encontrado que este compuesto es uno de los carbonilos más abundantes en la atmósfera. De igual forma se han realizado estudios de riesgo por exposición al HCHO en el interior de vehículos en el área metropolitana de la Ciudad de México (Shiohara *et al.* 2005).

En este trabajo se identifican las horas del día en las cuales se tiene una mayor afectación por los contaminantes ambientales. Así mismo, se identifican los compuestos que más contribuyen al riesgo ambiental en la región, y se estiman algunos parámetros relevantes a partir de las concentraciones como son el índice de riesgo, la pérdida de esperanza de vida y la probabilidad de cáncer en el tiempo de vida que sirven como medida del riesgo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos utilizados fueron medidos por el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM (CCA) y por la Red Automática de Monitoreo Ambiental del Gobierno del Distrito Federal (RAMA). En el CCA se empleó la espectrometría en infrarrojo (FTIR). El sitio de monitoreo se ubica sobre la azotea del centro de salud "Luis E. Ruiz" y se encuentra 20 m al sur de la estación de monitoreo Merced de la RAMA. Esta estación está ubicada a menos de 2 km al este-sur-este (ESE) del centro de la Ciudad de México. Los alrededores comprenden áreas urbanas, principalmente habitacional y comercial con escuelas de educación básica, canchas deportivas y parques con vegetación de temporal. Se ubica sobre la avenida Congreso de la Unión que presenta circulación de autos particulares, microbuses, autobuses, camionetas y camiones de carga, trailers y motocicletas.

El espectrómetro FTIR que midió las concentraciones en trayectoria abierta se colocó sobre el 4° piso de la escuela secundaria que se encuentra a un costado de la estación Merced de la RAMA. El telescopio receptor fue instalado sobre la azotea del hospital Balbuena, logrando de esta manera un paso óptico de 426 m de distancia entre los telescopios. De esta manera, el haz atraviesa horizontalmente de poniente a oriente a unos 20 m sobre la superficie (para más detalles ver Grutter 2003 y 2005). El mo-

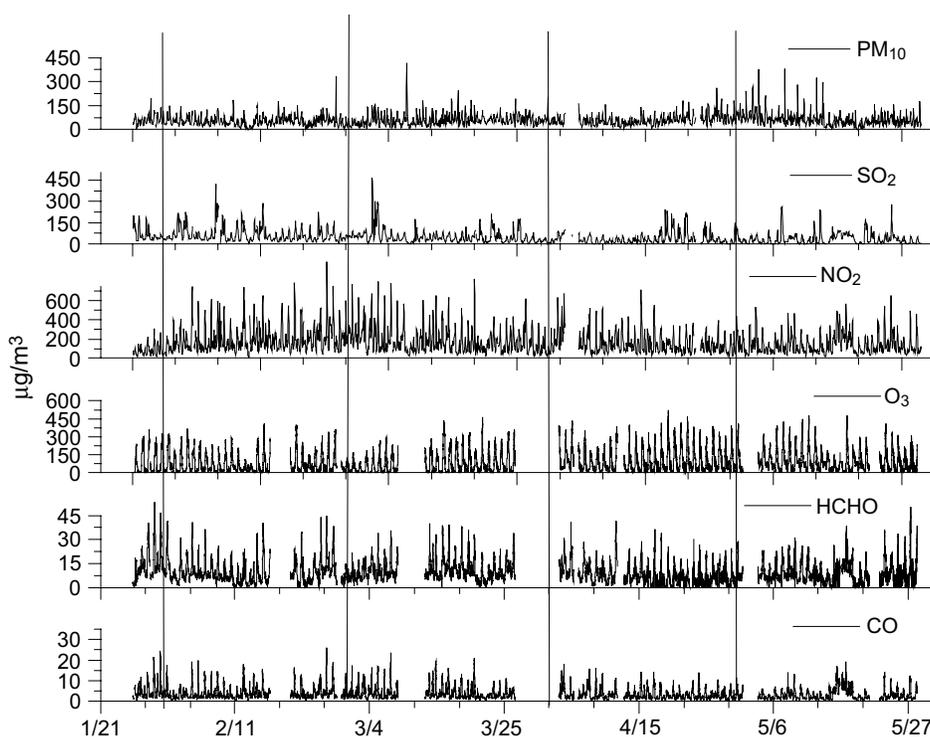


Fig. 1. Concentraciones ambientales de los contaminantes usados para el estudio. Los datos de NO_2 , SO_2 y PM_{10} provienen de la RAMA. O_3 , CO y HCHO fueron medidos por un espectrómetro FTIR en trayectoria abierta. Las líneas verticales indican el inicio de cada mes

tivo por la elección de este sitio para la evaluación de riesgo ambiental fue la disponibilidad de datos simultáneos del FTIR y de la estación de la RAMA. El período considerado corresponde a la estación de secas-caliente que comprende los meses de febrero a mayo de 2002.

La **figura 1** muestra los datos empleados en este estudio para los contaminantes criterio y HCHO . La información de NO_2 , SO_2 y PM_{10} fue obtenida de la RAMA mientras que el O_3 , CO y el HCHO fueron medidos con el espectrómetro FTIR en trayectoria abierta.

Las concentraciones ambientales durante el período del estudio se promediaron para generar las concentraciones de contaminantes horarias que se presentan en la **figura 2**.

La metodología utilizada para realizar la evaluación de riesgo es la propuesta por Gratt (1996), en la que se emplearon los siguientes estimados cuantitativos: el “índice de peligrosidad” (IP), la probabilidad de cáncer en el tiempo de vida (R) y la pérdida de esperanza de vida (PEV). El índice de peligrosidad se emplea para efectos no cancerígenos mientras que los otros estimados cuantitativos incluyen efectos cancerígenos.

El índice de peligrosidad puede evaluarse tanto para una exposición crónica como para una exposi-

ción aguda. Este índice se calcula como la relación de la concentración promedio de cada contaminante entre una concentración de referencia,

$$IP = \frac{[\chi]_{med}}{[\chi]_{ref}}$$

donde $[\chi]_{med}$ es la concentración medida del contaminante a analizar y χ_{ref} es la concentración de referencia, ya sea para exposición crónica o aguda. La exposición crónica se considera cuando se tienen períodos de exposición mayores a tres meses y la aguda para exposiciones de una hasta 24 horas. Un valor inferior a la unidad indica que no hay efectos en la salud.

La probabilidad de cáncer en el tiempo de vida (R) es el incremento en la probabilidad de un individuo de contraer cáncer debido a la exposición adicional de la sustancia en estudio, que en este caso es el formaldehído. La concentración de una sustancia en el aire, en términos de masa por unidad de volumen, se pueden convertir en la probabilidad de riesgo de cáncer mediante el uso del factor de conversión llamado “factor de riesgo unitario” (FRU),

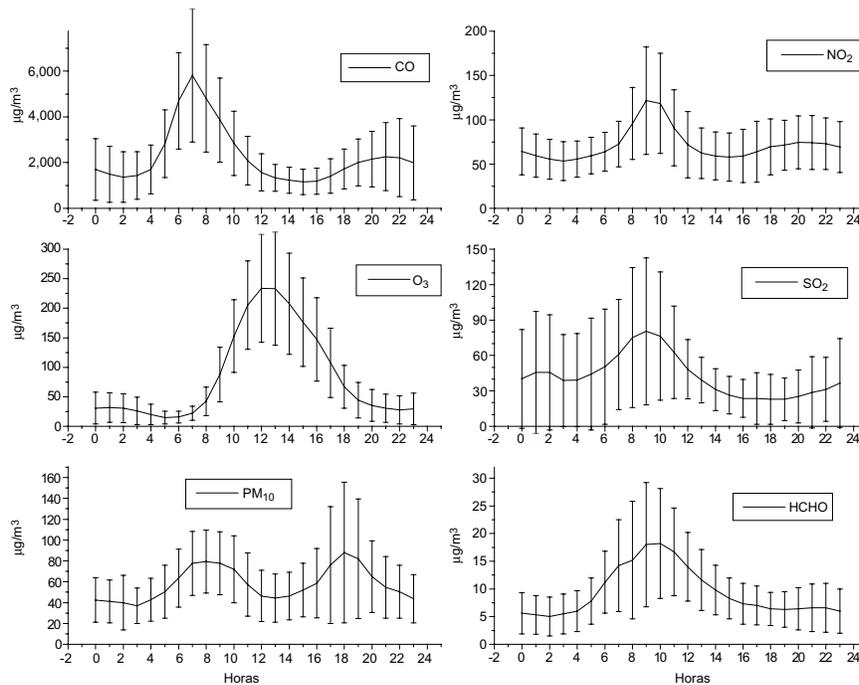


Fig. 2. Concentraciones promedio horarias para los contaminantes criterio y formaldehído. Las barras verticales muestran valores de $\pm \sigma$

$$R = FRU \cdot \chi \tag{1}$$

dónde R es el riesgo potencial de cáncer y χ es la concentración ambiental del compuesto peligroso. El factor de riesgo unitario para el formaldehído de 6×10^{-6} [R / ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)] usado en este estudio, proviene de la Oficina de Evaluación de Riesgo a la Salud de California (OEHHA).

La pérdida de esperanza de vida (PEV) se puede calcular empleando las tasas de mortalidad (mi) en función de la edad. Así se tiene una relación empírica (Gratt, 1996) para calcularla a partir del riesgo que es:

$$PEV = 1.1 \times 10^6 \times R \text{ (en días) para } R < 10^{-3} / \text{año} \tag{2}$$

Las concentraciones de referencia empleadas para los cálculos de IP se obtuvieron igualmente de la OEHHA y se presentan en el **cuadro I**.

La estimación del riesgo potencial a la salud se calcula como la suma de los índices de peligrosidad de los contaminantes,

$$Rs = \sum IP_i \tag{3}$$

Rs = riesgo potencial a la salud
 Rs < 1 indica que no existe riesgo aparente a la salud por exposición aguda

Rs > 1 indica que existe riesgo a la salud por exposición aguda

A partir de los datos medidos se obtuvieron las concentraciones promedio y las concentraciones horarias promedio de todo el período.

CUADRO I. CONCENTRACIONES DE REFERENCIA UTILIZADAS PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE PELIGROSIDAD (OEHHA, 2005)

Compuesto químico	Inhalación	
	Crónica ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Aguda ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Ozono O ₃	1.8×10^2	1.8×10^2
Formaldehído HCHO	0.3×10^1	1.9×10^2
Bióxido de Azufre SO ₂	6.6×10^2	6.6×10^2
PM ₁₀	5×10^1	1.2×10^2
Monóxido de carbono CO	2.3×10^4	--
Bióxido de nitrógeno NO ₂	4.7×10^2	4.7×10^2

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la **cuadro II** se presentan los resultados de las concentraciones promedio, el índice de peligrosidad y el riesgo potencial a la salud a partir de las concentraciones promedio de todo el período de muestreo

CUADRO II. CONCENTRACIONES PROMEDIO PARA EL PERÍODO ENERO MAYO DE 2002 EN LA ESTACIÓN LA MERCED, LOS ÍNDICES DE PELIGROSIDAD CORRESPONDIENTES Y PORCENTAJE DE CONTRIBUCIÓN AL RIESGO POTENCIAL A LA SALUD. (CONCENTRACIÓN DE REFERENCIA DE OEHTA)

Contaminante	Conc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	IP	Porcentaje (%)
Ozono	84.1	0.47	9
NO_2	166.9	0.36	7
SO_2	46.6	0.07	1
PM_{10}	57.9	1.16	22
HCHO	9.4	3.1	60

(27 de enero a 29 mayo). Para el HCHO se obtuvo de las mediciones una concentración media de $9.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que es mayor a la concentración de referencia de $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esto da un índice de peligrosidad de 3.40 lo cual indica que este compuesto puede producir afectaciones a la salud. El HCHO contribuye con el 63% al riesgo potencial a la salud. A éste le siguen las partículas (PM_{10}) con el 21 % y los gases criterio, de los cuales el ozono posee la contribución mayor con el 8%, mientras que por sus bajas ocurrencias, el que menos contribuye es el SO_2 con un 1%. El riesgo potencial para estos contaminantes tiene el valor de 5.42 que corresponde a la suma de los índices de peligrosidad de los contaminantes evaluados. Este valor se calcula para ser usado con fines de comparación con otros lugares o períodos de tiempo diferentes donde se realice este mismo tipo de evaluación.

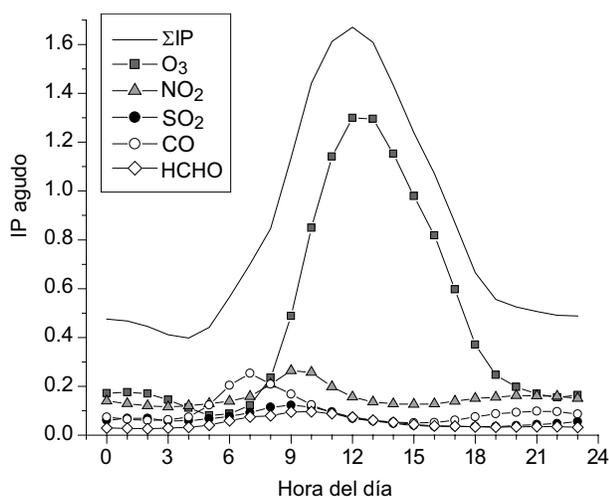


Fig. 3. Índice de peligrosidad agudo para contaminantes criterio y HCHO horario. La línea continua representa la suma de los IP de los contaminantes. Valores mayores de uno indican que se sobrepasa la concentración de referencia

Se observa que el formaldehído ambiental posee la mayor contribución al riesgo potencial a la salud, lo cual indica que este compuesto es importante y se podría considerar en la evaluación de la calidad del aire en la Ciudad de México como otro contaminante criterio. En ciudades como la de Oregon, el formaldehído sólo representa el 14 % del riesgo total, siendo el tetracloruro de carbono y el 1,3-butadieno los compuestos tóxicos que más contribuyen en esa ciudad.

La probabilidad de cáncer en el tiempo de vida se calcula para el formaldehído a partir de la concentración a una exposición crónica, obteniéndose el valor de 56.4×10^{-6} y a partir de este, se puede estimar la pérdida de esperanza de vida que se estima en 62 días. Las evaluaciones de riesgo en la ciudad de Oregon (Tamand y Neumann 2004) tienen valores de riesgo de 34.3×10^{-6} . Este dato fue calculado con un factor unitario de riesgo no actualizado como el utilizado en este estudio. Calculando el riesgo con el valor actualizado se obtiene un valor de 16×10^{-6} lo cual indica que la Ciudad de México se tienen valores de riesgo de más de tres veces el valor de los obtenidos en Oregon.

Para poner en perspectiva esta pérdida de esperanza de vida, se tienen que los accidentes en Estados Unidos de América, tanto laborales como domésticos, tienen una pérdida de esperanza de vida de 60 y 74 días, respectivamente (Gratt 1996). Lo anterior indica que la pérdida de esperanza de vida para el formaldehído es significativa.

Los niveles de referencia para riesgo que se utilizan en estudios ambientales indican que no se debe exceder de un caso por millón (1×10^{-6}) y en los lugares de trabajo no debe ser mayor a 1×10^{-4} . Debido a la naturaleza conservadora de la revisión del análisis de riesgos a la salud, niveles menores son muy indicativos de no tener un impacto potencial. Los riesgos significativamente mayores que los niveles establecidos o de referencia pueden presentar una preocupación potencial a la salud que justifica una evaluación del riesgo más detallada, como es el caso del formaldehído ambiental calculado para este estudio.

Estos valores de riesgo consideran que el individuo se encuentra expuesto durante 70 años 24 horas al día a la concentración ambiental de $9.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sin embargo esta estimación puede estar subestimada ya que la exposición a la que se encuentra un individuo depende de las concentraciones presentes en los diferentes microambientes en los cuales realiza sus actividades diarias. En estudios en México (Baez *et al.* 2004) y en Taiwan (Wu *et al.* 2003) las concentraciones ambientales de formaldehído

alcanzan valores de 221 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 135 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el interior de oficinas y 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante el uso del transporte público en México (Shiohara *et al.* 2002). Lo anterior muestra que la concentración media a la cual se encuentra un individuo en la ciudad de México puede ser mayor a la considerada en este trabajo.

En la **figura 2** se muestra el promedio horario de las concentraciones ambientales de los contaminantes criterio y del formaldehído. De esta figura se puede observar que el CO, contaminante primario, posee un máximo durante las primeras horas de la mañana (entre 7:00 y 8:00), mientras que el O₃ (contaminante secundario) posee su máximo a las 13:00 h.

Empleando los promedios horarios y las concentraciones de referencia de los contaminantes para exposición aguda (**Cuadro I**) se estimó para cada hora el índice de peligrosidad (IP) con la finalidad de evaluar de forma horaria este índice y con ello identificar las horas donde se tienen las concentraciones menos favorables para estar en el exterior. Los resultados se presentan en la **figura 3**. Se puede observar que el único compuesto que rebasa el nivel de 1 es el ozono desde las 12:00 hasta pasadas las 14:00 h. Por otra parte, el riesgo potencial a la salud (que es la suma de los índices de peligrosidad individuales) posee valores mayores a 1 desde las 7:00 a las 19:00 h.

A partir de estos estimados cuantitativos de riesgo se puede observar que las horas menos favorables para hacer ejercicio son de las 7:00 a las 19:00 h para la región de estudio, que podría ser considerada como representativa de la zona centro de la Ciudad de México.

CONCLUSIONES

Se realizó un estudio de riesgo ambiental a los contaminantes criterio y formaldehído en la zona centro de la Ciudad de México. Los estimados cuantitativos empleados para evaluar el riesgo ambiental que se presentan pueden aplicarse a otras zonas de la ciudad para poder hacer comparaciones tanto en distribución espacial como en diferentes períodos de tiempo.

Se observó que el formaldehído contribuye de forma importante en el riesgo a la salud en la zona por lo cual puede ser considerado como otro contaminante criterio para evaluar la calidad del aire. En el estudio se obtuvo que la probabilidad de cáncer en el tiempo de vida es de más de 61 casos por millón de habitantes y es 3 veces mayor que en la

ciudad de Oregon, lo cual indica que se requieren estudios más detallados sobre las afectaciones de este compuesto a la salud y al ambiente. Adicionalmente, la exposición crónica al formaldehído ambiental podría inducir una pérdida de esperanza de vida de 67 días según la metodología usada para la evaluación.

Para el caso de las exposiciones agudas, el ozono es el compuesto que posee la mayor contribución al riesgo potencial a la salud ya que sobrepasa el valor de 1 de las 12:00 a 14:00. Sin embargo, al emplearse el IP de los otros contaminantes, se observa que la calidad del aire es poco favorable a la salud de las 7:00 a las 19:00 h.

Los resultados muestran que el formaldehído es un compuesto importante en la calidad del aire en la Ciudad de México que debe considerarse para futuras evaluaciones y en las medidas de control ambiental.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al CONACyT quien financió parte de este estudio mediante el proyecto J33620-T y a la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal que proporcionó los datos de la Red de Monitoreo Automático (RAMA) de la estación Merced.

REFERENCIAS

- Báez A.P., Torres M.D.C.B., García R.M., Padilla H.G. (2002). Carbonyls in the metropolitan area of Mexico City: Calculation of the total photolytic rate constants $K_p(S-1)$ and photolytic lifetime (τ) of ambient formaldehyde and acetaldehyde. *Env. Sc. Poll. Res.* 9, 230-233.
- Báez A., Padilla H., García R., Torres M.D.C., Rosas I., Belmont R. (2003). Carbonyl levels in indoor and outdoor air in Mexico City and Xalapa, Mexico. *Sci. Total Env.* 302, 211-226.
- Báez A.P., Padilla H.G., García R.M., Belmont R.D., Torres M.D.C.B. (2004). Measurements of carbonyls in a 13-story building. *Environ. Sci. Poll. Res.* 11, 400-404.
- Chen T.-M., Gokhale J., Shofer S., Kuschner W.G. (2007). Outdoor air pollution: Nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and carbon monoxide health effects. *Am. J. Med. Sci.* Carlier P., Hannachi H., Mouvier G. (1986). The chemistry of carbonyl compounds in the atmosphere - A review. *Atmos. Env. Part A General Topics* 20, 2079-2099.

- De Pablo F., López A., Rivas Soriano L., Tomás C., Diego L., González M., Barrueco M. (2006). Relationships of daily mortality and hospital admissions to air pollution in Castilla-León, Spain. *Atmósfera*, 19, 23-39
- Filleul L., Cassadou S., Médina S., Fabres P., Lefranc A., Eilstein D., Le Tertre A., Pascal L., Chardon B., Blanchard M., Declercq C., Jusot J.F., Prouvost H., Ledrans M. (2006). The relation between temperature, ozone, and mortality in nine French cities during the heat wave of 2003. *Env. Health Pers.* 114, 1344-1347.
- Finlayson-Pitts B. J. and Pitts J.N. jr. (1986). *Atmospheric Chemistry*. Wiley, Nueva York, 1098 pp.
- García A.R., Volkamer R., Molina L.T., Molina M.J., Samuelson J., Mellqvist J., Galle B., Herndon S. C. y Kolb C.E. (2006). Separation of emitted and photochemical formaldehyde in Mexico City using a statistical analysis and a new pair of gas-phase tracers. *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 4545-4557, Disponible en: www.atmos-chem-phys.net/6/4545/2006/.
- Granby K., Christensen, C.S., Lohse, C. (1997). Urban and semi-rural observations of carboxylic acids and carbonyls. *Atmos. Environ.* 31, 1403-1415.
- Gratt Lawrence B. (1996). *Air toxic risk assessment and management*. Van Nostrand Reinhold, Nueva York, EUA p. 388.
- Grutter M., Flores E., Basaldud R. y Ruiz-Suárez L.G. (2003). Open-path FTIR spectroscopic studies of the trace gases over Mexico City. *Atmos. Oceanic Opt.* 16, 232-236
- Grutter M., Flores, E., Andraca-Ayala G., Báez A. (2005). Formaldehyde levels in downtown Mexico City during 2003 *Atmos. Env.* 39, 1027-1034.
- Herndon S. C., Yongquan L., Nelson D.D. y Zahniser M. S. (2005). Determination of line strengths for selected transitions in the ν_2 band relative to the U1 and N2 bands of H₂CO. *J. Quant. Spectros. Rad. Transfer* 90, 207-216
- Müller K. (1997). Determination of aldehydes and ketones in the atmosphere. A comparative long-time study at an urban and a rural site in Eastern Germany. *Chemosphere* 35, 2096-2106.
- Office of Environmental Health Hazard Assessment (OE-HHA) and the Air Resources Board (ARB) http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/index.html/. Consulta 20/08/2007.
- O'Neill M.S., Loomis D., Borja-Aburto V.H. (2004). Ozone, area social conditions, and mortality in Mexico City. *Environ. Res.* 94, pp. 234-242.
- O'Neill, M.S., Loomis, D., Borja Aburto, V.H., Gold, D., Hertz-Picciotto, I., Castillejos, M. (2004). Do associations between airborne particles and daily mortality in Mexico City differ by measurement method, region, or modeling strategy? *J. Exp. Anal. Environ. Epidem.* 14, pp. 429-439.
- RAMA <http://www.sma.df.gob.mx/simat/prama.htm>.
- Satsumabayashi H., Kurita H., Chag Y.S., Carmichael G.R. y Ueda H. (1995). Photochemical formations of lower aldehydes and lower fatty acids under long-range transport in central Japan. *Atmos. Environ.* 29, 255-266.
- Ritz B., Wilhelm M. y Zhao Y. (2006). Air pollution and infant death in southern California, 1989-2000. *Pediatrics*. 118, 493-502.
- Naohide S., Fernández-Bremauntz A.A., Blanco Jiménez S. y Yanagisawa Y. (2005). The commuters' exposure to volatile chemicals and carcinogenic risk in Mexico City. *Atmos. Env.* 39, 3481-3489.
- Tam B.N. y Neumann C.M. (2004). A human health assessment of hazardous air pollutants in Portland, OR. *J. Environ. Manage.* 2004 Nov. 73, 131-45.
- Theophanides M., Anastassopoulou J., Vasilakos C., Maggos T. y Theophanides T. (2007). Mortality and pollution in several greek cities. *J. Environ. Sci. Heal. A*, 42, 741-746.
- Viskari E.L., Vartiainen M. y Pasanen P. (2000). Seasonal and diurnal variation in formaldehyde and acetaldehyde concentrations along a highway in Eastern Finland. *Atmos. Env.* 34, 917-923
- Wu P.C., Li Y.Y. Lee C.C., Chiang C.M. y Su H.J.J. (2003). Risk assessment of formaldehyde in typical office buildings in Taiwan. *Indoor Air*, 13, pp. 359-363.
- Zhang Y., Huang W., London S.J., Song G., Chen G., Jiang L., Zhao N., Chen B. y Kan H. (2006). Ozone and daily mortality in Shanghai, China. *Environ. Heal. Persp.* 114, 1227-1232.