

# Análisis de la contaminación por $PM_{2.5}$ en la ciudad de Monterrey, Nuevo León, enfocado a la identificación de medidas estratégicas de control

Centro Mario Molina

2018

## Resumen

---

El presente estudio evaluó y propuso medidas de reducción de emisiones de  $PM_{2.5}$  primarias y de sus precursores en el Área Metropolitana de Monterrey (AMM) mediante un análisis histórico de datos de calidad del aire y meteorología, una campaña de monitoreo de  $PM_{2.5}$  dentro del AMM y estimaciones de mortalidad debido a  $PM_{2.5}$  para la población expuesta. Con esta información se lograron identificar patrones típicos de mala calidad del aire y fuentes potenciales de emisión, permitiendo así la integración de propuestas de medidas estratégicas de control de  $PM_{2.5}$  para fuentes industriales, fuentes móviles, y fuentes de área.

---

### 1. Introducción

Durante los últimos años se ha reconocido la importancia de realizar estudios de contaminación en las principales Áreas Metropolitanas de México, ya que existe evidencia científica que éstas áreas han presentado graves problemas de contaminación atmosféricas, como es el caso del Área Metropolitana de Monterrey (AMM).

La calidad del aire de esta ciudad ha sido calificada en varias ocasiones como la peor del país, debido principalmente a las altas concentraciones de la fracción fina de las partículas suspendidas ( $PM_{2.5}$ ), cuyos impactos a la salud son muy importantes, debido a que tiene la capacidad de penetrar profundamente en el tracto respiratorio humano, así como de contribuir significativamente en la formación de diversos compuestos orgánicos e inorgánicos secundarios tóxicos.

### 2. Objetivo general

Analizar la problemática de calidad del aire con respecto a partículas finas ( $PM_{2.5}$ ) primarias y secundarias en el AMM, ya que presenta altas concentraciones de este contaminante, y reúne las condiciones que permitirán compilar información que pueda ser utilizada para evaluar y proponer medidas de reducción de emisiones primarias y de sus precursores.

### 3. Objetivos particulares

- Analizar los datos históricos de calidad del aire del Área Metropolitana de Monterrey (AMM)
- Realizar una campaña de recolección de datos de concentración de  $PM_{2.5}$  en la AMM, junto con instituciones colaboradoras
- Identificar y proponer medidas de control de emisiones ad-hoc para el control de las fuentes identificadas como importantes.

### 4. Metodología

La metodología se dividió en varias etapas, en las cuales se analizaron datos históricos de calidad del aire en la región, y paralelamente se realizaron ejercicios de modelación para entender los patrones típicos de dispersión regional de contaminantes atmosféricos en el AMM. Derivado de lo anterior, se identificaron las mejores ubicaciones de sitios potenciales de monitoreo para la colecta de  $PM_{2.5}$  durante una campaña de muestreo que se desarrolló del 04 al 09 de junio de 2018, que corresponde a condiciones que históricamente presentan temperaturas elevadas y concentraciones altas de partículas suspendidas.

Se seleccionaron dos sitios fijos para la colecta de partículas  $PM_{2.5}$  con equipos Minivol que se ubicaron en la localidad de San Juan, al sureste del AMM y justo viento arriba (libre de la influencia) de la pluma que emite la refinería de Cadereyta para conocer las concentraciones de fondo. El segundo sitio se localizó en el municipio de García al noroeste del AMM en una región que se caracteriza por contar con empresas pedreras que aportan concentraciones importantes de material particulado, el cual, de acuerdo con los ejercicios de modelación, es un sitio receptor de contaminantes.

Adicionalmente se contó con un tercer sitio, que sirvió como referencia de las características de una zona con alta actividad antropogénica, ubicado en el centro del AMM, dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma de Nuevo León. (Ver Figura 1).

De forma complementaria a las mediciones con equipos fijos de  $PM_{2.5}$ , se utilizaron equipos portátiles de  $PM_{2.5}$  (PDR) para conocer niveles de exposición personal en el transporte público que circula en el AMM.

Asimismo, se realizaron mediciones de  $NO_2$  y  $SO_2$  utilizando la técnica de DOAS-Mobile en diferentes industrias dentro y fuera del AMM, así como estimaciones del índice de mortalidad para la población que habita en el AMM.

De manera complementaria, se realizaron estimaciones de mortalidad debido a la exposición de la población a  $PM_{2.5}$  asociados a problemas cardiovasculares, mortalidad por causas respiratorias y mortalidad infantil.

## 5. Resultados

Se comprobó mediante trabajos de modelación y análisis de datos históricos de dirección y velocidad del viento, que la dirección predominante en la que se desplaza el aire, va del sector Este y Sureste hacia el Noroeste, por lo que los municipios ubicados en ese sector (municipio de García) serán, por buena parte del año, sitios receptores de parcelas de aire cargadas de contaminantes atmosféricos, que se emiten desde el Este y Sureste de Monterrey (municipio de Cadereyta y Pesquería), en

donde se ubica la refinería de petróleo de Cadereyta y la Central Termoeléctrica de Ciclo Combinado de Pesquería respectivamente.

A las emisiones de estas industrias en el sureste del AMM, se les suman aquellas a su paso dirigiéndose hacia el noroeste, provenientes de fuentes fijas y móviles que operan y circulan en el centro de la ciudad, por lo que usualmente los niveles más altos de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  se registran justamente en la zona de García, ubicada al Noroeste, debido a este arrastre de contaminantes, además de la contribución de fuentes locales de actividad extractiva que ahí se desarrollan (pedreras).

Con relación al análisis histórico de datos de calidad del aire del 2014 al 2016, se encontró que muy pocas estaciones cuentan con mediciones de  $PM_{2.5}$  y aquellas que lo realizan no cumplen con el 75% de suficiencia de datos para realizar análisis estadísticamente representativos (al menos 273 datos al año). Sin embargo, analizando los datos de aquellas estaciones que cumplieron con al menos el 40% de suficiencia de datos (al menos 146 registros); se observó que hay excedencias recurrentes de concentraciones que rebasan las normas de calidad del aire para  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  y  $O_3$ , siendo la época fría-seca (diciembre-febrero) los meses en los que se presentan las más altas concentraciones de  $PM_{2.5}$ , sobre todo en las estaciones ubicadas al Noroeste (San Bernabé) y en algunos casos al Noreste (Apodaca y San Nicolás) del AMM.

Los contaminantes  $SO_2$  y  $NO_2$  no presentaron excedencia para el año 2016.

Con respecto a la composición química o “especiación” de las  $PM_{2.5}$  recolectadas en las muestras, se encontró que en promedio el porcentaje de especies cuantificadas fue del 31-45% del total de la masa colectada; siendo García el sitio con una mayor fracción de especies de sulfatos y nitratos (precursores de aerosoles inorgánicos secundarios) con aproximadamente 16% de la masa total de  $PM_{2.5}$  colectada; mientras que en San Juan se estimó que estas dos substancias contribuyen con alrededor del 13% de la masa total. En Universidad las especies que predominaron fueron las

asociadas a origen geológico (Al, Si, Ca, Fe) con un porcentaje de 25% con respecto a la masa total, atribuidas a fuentes de emisión con giros industriales dedicados a la producción de cemento y vidrio.

Adicionalmente se identificó una fuerte correlación entre los iones sulfato y amonio en los sitios de García y San Juan que se atribuyen a la presencia de sales de sulfato de amonio, que son utilizados en la zona principalmente como fertilizantes agrícolas.

Los resultados de carbono orgánico (OC) mostraron que las partículas recolectadas en San Juan estuvieron compuestas al 100% de esta sustancia, atribuible a una fuerte presencia de quema de combustibles fósiles asociado a la refinación de petróleo y generación de energía eléctrica que ahí ocurren. Por su parte, las partículas recolectadas en García contenían un 85% de OC, atribuible a que en esta zona también existen industrias como las pedreras que utilizan combustibles fósiles.

Las mediciones de NO<sub>2</sub> con DOAS-Mobile indicaron que la pluma de contaminante emitidos por la industria Ternium, en el centro de la ciudad, se dirigieron hacia el Oeste, al igual que las emisiones provenientes de Protexa.

En Cadereyta la pluma de contaminantes se dirigió hacia el sector Noroeste, comprobando así los patrones de circulación regional de las plumas de NO<sub>2</sub> viajando del Este hacia el Noroeste de acuerdo a lo comentado anteriormente.

Los resultados obtenidos de las mediciones realizadas a bordo del transporte público, mostraron que las concentraciones más altas de PM<sub>2.5</sub> ocurrieron en la Línea 2 del Metro (Metrorrey) durante los recorridos matutinos, (19 y 25 µg/m<sup>3</sup> teniendo picos entre 67-76 µg/m<sup>3</sup>) en el momento en que el tren se aproximaba a la estación "Niños Héroes", en cercanía de las empresas Ternium-Metalurgia y Vidriera-Vitro. Para el caso de la Ecovía las concentraciones máximas registradas también ocurrieron durante la mañana (22 y 34 µg/m<sup>3</sup> y máximos superiores a las 66 µg/m<sup>3</sup>) cuando el transporte pasaba cerca de la Metalurgia-Ternium y Vidriera-Vitro.

En cuanto a la estimación de mortalidad debido a la exposición de la población a PM<sub>2.5</sub> asociados a problemas cardiovasculares, mortalidad por causas respiratorias y mortalidad infantil, se encontró que la población mayormente expuesta se localiza en los municipios centrales del AMM. Alcanzando 1880 casos de muertes prematuras al año asociadas a la exposición de la población a PM<sub>2.5</sub>.

## 6. Discusión

Es de llamar la atención que de los cinco días durante los que se tomaron muestras de PM<sub>2.5</sub>, dos de estos presentaron excedencias a los niveles máximos permisibles de concentración de este contaminante (> 45 µg/m<sup>3</sup>) tanto en García como en San Juan, a pesar de que en la época en la que se llevaron a cabo las emisiones no se presentan las condiciones meteorológicas más desfavorables del año. Ello hace suponer que durante los meses en los que se presenta estabilidad atmosférica (temporada fría-seca entre diciembre y febrero) las concentraciones y las excedencias a las normas son mucho más agudas y frecuentes.

Considerando todo lo anterior nos parece urgente la necesidad de fortalecer la infraestructura de monitoreo de la calidad del aire para gases contaminantes, y material particulado PM<sub>10</sub> y sobre todo PM<sub>2.5</sub> y carbono negro, de forma que se cuente con la información necesaria para tomar decisiones contundentes, mejorar los inventarios de emisiones, y sentar las bases de un sistema robusto de gestión.

Si bien los hallazgos encontrados durante la ejecución de este proyecto orientan de manera preliminar la recomendación de medidas y políticas de reducción de emisiones contaminantes, es fundamental que se lleve a cabo una campaña de muestreo y análisis de composición de partículas robusto y representativo de cada una de las distintas épocas del año, de forma que se recopilen los datos necesarios para realizar una identificación mucho más precisa de las principales fuentes de contaminantes y precursores, su transporte y cambios fisicoquímicos en la atmósfera y el impacto directo que provocan en salud de la

población por exposición aguda y crónica, lo cual derivará en recomendaciones de política mucho más precisas y efectivas.

## 7. Conclusiones y recomendaciones

Derivado de los resultados obtenidos durante este estudio, se proponen las siguientes medidas enfocadas a las políticas de reducción de emisiones:

### Fuentes Industriales

- Estudiar la viabilidad de la reubicación de la industria altamente contaminante e implementar sistemas de control de emisiones atmosféricas en todas las industrias dentro y fuera de la AMM.
- Aquella industria que no sea posible reubicar en el corto y mediano plazos, debe instalar de manera obligatoria tecnologías modernas anticontaminantes y utilizar combustibles más limpios, como es el gas natural en sustitución del combustóleo y otros hidrocarburos pesados.
- Desarrollar un programa industrial bajo en emisiones, es decir, debe prohibirse de manera progresiva pero inmediata, el uso de combustóleo en toda el AMM, como se ha hecho ya en otras zonas metropolitanas del país, de forma que se reduzcan significativamente las emisiones de  $PM_{2.5}$  y  $SO_2$ , priorizando así la salud de la población.
- Aprovechar el liderazgo industrial de la región para gestionar un Pacto por la Calidad del Aire con las industrias, que permita la implementación de medidas de reducción de emisiones y la modernización industrial.

### Fuentes Móviles

- Introducir tecnologías vehiculares Euro VI o equivalente en transporte de carga y transporte público a diésel, ya que es la flota que representa las mayores oportunidades de reducción de  $NO_x$ ,  $COVs$  y  $PM_{2.5}$  primarias.
- Promover el uso integral del transporte público de forma que se reduzca el índice de motorización, el cual en algunos municipios es el más alto del país.
- Promover la chatarrización de unidades que tenga una antigüedad mayor a 10 años,

como primera etapa, acoplado a medidas relacionadas con beneficios fiscales para maximizar la sustitución.

- Gestionar de manera enérgica con PEMEX la necesidad de disponer de combustibles fósiles de ultra bajo azufre y con formulaciones funcionales para las distintas condiciones locales específicas que se presentan en el AMM.

- Reordenar paradas de transporte público y flujos vehiculares, regular la circulación de los vehículos de carga, fomentar el uso del transporte escolar, movilidad sostenible empresarial, uso de la bicicleta.

### Fuentes de Área

- Generar programas de reducción de emisiones: Diseño de clústeres que abarquen buenas prácticas en actividades como transporte, logística conjunta en manejo de materias primas, desarrollo de obras y disposición de residuos.

### Aspectos Generales

- Se recomienda mejorar y fortalecer los sistemas de gestión de la calidad del aire implementados actualmente de manera insuficiente. Incluyendo el fortalecimiento de la red de monitoreo atmosférico, la actualización y sistematización continuas de los inventarios de emisiones, la participación de grupos ciudadanos como contraparte "auditora" del progreso, y la posible vinculación a campañas globales por el aire limpio, como lo han hecho ya otras zonas metropolitanas del país.

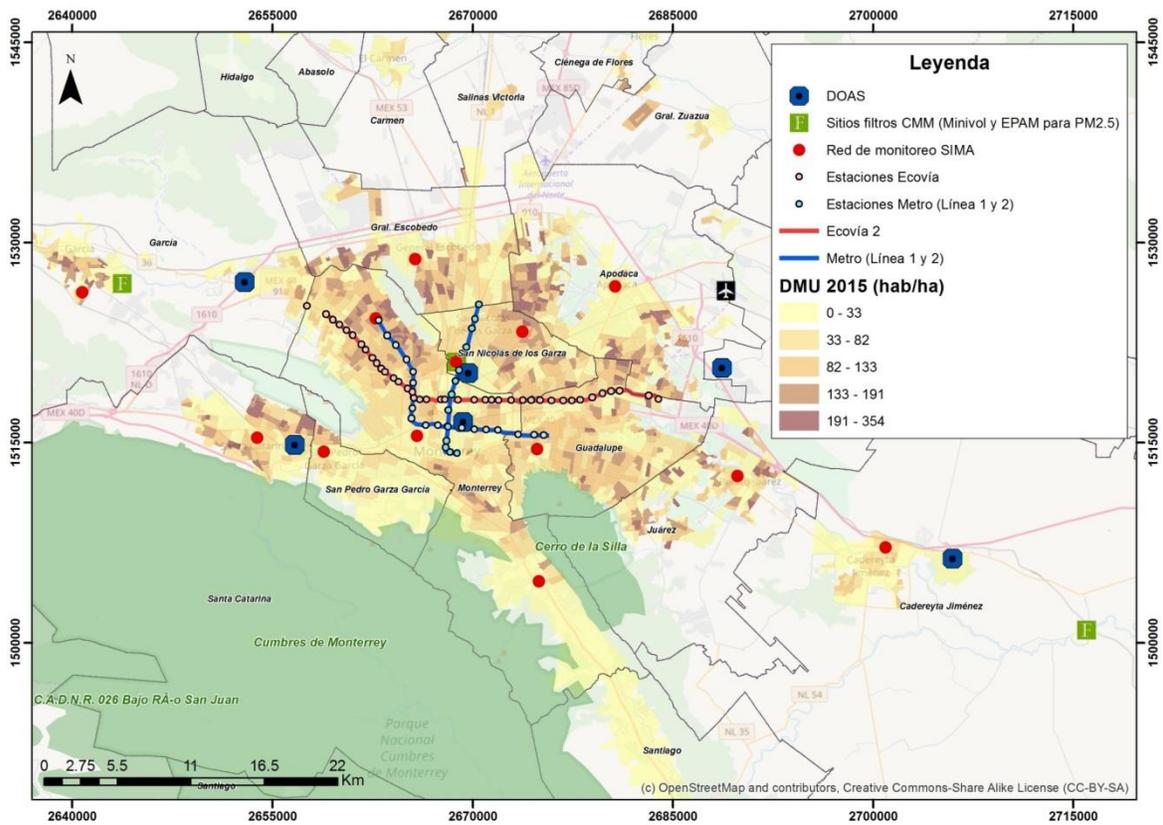


Figura 1 Distribución de equipos y mediciones para la campaña de monitoreo del 4 al 9 de junio de 2018 en el ÁMM.

## 8. Referencias

- Blanco-Jiménez S. et al. (2015). Evaluación de Partículas Suspendidas PM<sub>2.5</sub> en el Área Metropolitana de Monterrey. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). México. 31pp
- Brook J. et al. (2003). Receptor Methods North America Research Strategy for Tropospheric Ozone (NARSTO). Fine particle assessment. Part 2. Chapter 7. EPRI 1007735.
- Cardona-Carrizalez J. (1999). Una metodología para estudiar la dispersión de PM<sub>10</sub> en Monterrey. Tesis maestría. División de ingeniería y arquitectura, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores Monterrey (ITESM). Monterrey Nuevo León. México, 162 pp.
- CMM. 2014a. Diseño de un Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas en los Municipios que conforman la Zona Metropolitana del Valle de Toluca.
- CMM. 2016. Soluciones de Fondo para Mejorar la Calidad del Aire del Valle de México. Disponible en: [http://centromariomolina.org/wp-content/uploads/2016/05/PP\\_SolucionesFondoMejorarCalidadaireZMVM.pdf](http://centromariomolina.org/wp-content/uploads/2016/05/PP_SolucionesFondoMejorarCalidadaireZMVM.pdf)
- CMM. 2016b. Diseño de Zonas de control vehicular para mejorar la calidad del aire en la región centro del país (ecozonas) Disponible en: <http://centromariomolina.org/wp-content/uploads/2016/05/6.-Resumen-Ejecutivo-ZCV-Ecozonas.pdf>
- CEPA. (2004). Proposed List of Measures to Reduce Particulate Matter – PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>. Disponible en: [https://www.arb.ca.gov/pm/pmmeasures/staff\\_report.pdf](https://www.arb.ca.gov/pm/pmmeasures/staff_report.pdf)
- Fajersztajn L. et al. (2013). Air pollution: a potentially modifiable risk factor for lung cancer. *Nature. Rev. Cancer.* 13 (9), 674–678. DOI: 10.1038/nrc3572
- González-Santiago O. et al. (2011). Temporal analysis of PM<sub>10</sub> in Metropolitan Monterrey, Mexico. *J. Air Waste Manag. Assoc.* 61 (5), 573-579. DOI: 10.3155/1047-3289.61.5.573
- González L. et al. (2017). Determination of trace metals in TSP and PM<sub>2.5</sub> materials collected in the Metropolitan Area of Monterrey, Mexico: A characterization study by XPS, ICP-AES and SEM-EDS. *Atmos. Res.* 196 (1), 8-22.
- Griffin, D.W. (2007). Atmospheric movement of microorganisms in clouds of desert dust and implications for human health. *Clinical Microbiology Reviews* 20 (3), 459.
- IHME. (2018). GBD Results Tool. Health Data Exchange. Institute for Health Metrics and Evaluation. [En línea]. <http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool>
- INSP. (2012). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición. Resultados por Entidad Federativa. Instituto Nacional de Salud Pública [En línea] <https://ensanut.insp.mx/informes/NuevoLeon-OCT.pdf>
- Jáuregui E. (1997). Heat island development in Mexico City. *Atmos. Environ.*, 31, 3821–3831. DOI: 10.1016/S1352-2310(97)00136-2
- Lopez-Reyes A. et al. (2016). Characterization of atmospheric black carbon in particulate matter over the Monterrey metropolitan area, Mexico, using scanning electron microscopy” *Air Quality, Atmosphere and Health* 9 (3), 223-229.
- Mancilla Y. et al. (2015). Secondary organic aerosol contributions to PM<sub>2.5</sub> in Monterrey, Mexico: Temporal and seasonal variation. *Atmos. Res.* 153, 348-359. DOI: 10.1016/j.atmosres.2014.09.009
- Martínez A. et al. (2012). Chemical Characterization and Factor Analysis of PM<sub>2.5</sub> in Two Sites of Monterrey, Mexico. *Journal of the Air and Waste Management Association.* 62 (7), 817-827. DOI: <https://doi.org/10.1080/10962247.2012.681421>
- OMS. (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Organización Mundial de la Salud. Ginebra, Suiza, 25 pp. [en línea]. [http://www.who.int/publications/list/who\\_sde\\_phe\\_oeh\\_06\\_02/es/](http://www.who.int/publications/list/who_sde_phe_oeh_06_02/es/)
- Platt U., y Stutz J. (2008), *Differential Optical Absorption Spectroscopy: Principles and Applications*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-540-75776-4

- Poschl U. (2005). Atmospheric Aerosols: Composition, Transformation, Climate and Health Effects. *Journal of the German Chemical Society* 44 (46), 7520-7540 7520-7540. DOI: 10.1029/2001JD000720
- Sánchez-Martínez L. (2006). Estudio de las partículas  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en 2 zonas del Área Metropolitana de Monterrey durante 3 épocas del año. Tesis de maestría. División de ingeniería y arquitectura, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores Monterrey (ITESM). Monterrey Nuevo León. México, 130 pp.
- Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México. Calidad del aire en la Ciudad de México, informe 2016 (2017). Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire, Dirección de Monitoreo Atmosférico. Informe. Ciudad de México, México, 204 pp.
- SEDESU. (2016). Programa de gestión para mejorar la calidad del aire del estado de Nuevo León ProAire 2016 - 2025. Monterrey: Secretaría de Desarrollo Sustentable de Nuevo León. Programa. Nuevo León, México, 249 pp.
- SEMARNAP. (1998) Programa de administración de la calidad del aire del área metropolitana de Monterrey 1997-2000. Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. Monterrey Nuevo León. México, 143 pp.
- SEMARNAT. (2012). Programa de Gestión Para Mejorar la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey 2008-2012. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Informe de Evaluación. México, 196 pp.
- SIMA. (2018). Reporte de la calidad del aire en el área metropolitana de Monterrey. Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (SIMA) Nuevo León. Secretaría de Desarrollo Sustentable de Nuevo León. [en línea]. [http://aire.nl.gob.mx/map\\_calidad.html](http://aire.nl.gob.mx/map_calidad.html) 06 sept 2018.
- SINAICA. (2018). Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire. Recuperado el 6 de Septiembre de 2018, de Red de monitoreo: Monterrey (MTY) [en línea]. <http://sinaica.inecc.gob.mx/> 06sept 2018.
- SSA (2014). Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014. Salud ambiental. Valor límite permisible para la concentración de partículas  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  en el aire ambiente y criterios para su evaluación. Secretaría de Salud. Diario Oficial de la Federación. 20 de agosto de 2014.
- Stein A. et al. (2015). NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system, *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 96, 2059-2077. DOI: 10.1175/BAMS-D-14-00110.1
- Vega E. et al. (2002). Basic statistics of  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  in the atmosphere of Mexico City. *Sci. Total. Environ.* 287, 167-176. DOI: 10.1016/S0048-9697(01)00980-9
- Yoshikado H. & Tsuchida M. (1996). High Levels of Winter Air Pollution under the Influence of the Urban Heat Island along the Shore of Tokyo Bay. *J. Appl. Meteor.* 35 (10), 1804-1813. DOI: 10.1175/1520-0450(1996)035<1804:hlowap>2.0.co;2

Agradecemos la aportación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) para la realización de este proyecto.

