



**“Estudio sobre la variabilidad estacional de la
composición y toxicidad de partículas finas en el Valle de
México”**

Informe final

Asesoría a cargo de:

Dirección General de Investigación sobre
la Contaminación Urbana y Regional (DGICUR)

Dirección de Investigación sobre la Calidad del Aire (DICA)

Preparado por:

Dr. Álvaro R. Osornio Vargas
Investigación Básica
Instituto Nacional de Cancerología

Bajo contrato:

INE/A1-006/2009

18 de septiembre de 2009

Índice

| | |
|-------------------------------------|----|
| 1. Introducción | 3 |
| 2. Justificación | 4 |
| 3. Objetivos..... | 5 |
| 4. Alcances y consideraciones | 5 |
| 5. Metodologías | 6 |
| 6. Resultados..... | 6 |
| 7. Análisis de resultados..... | 12 |
| 8. Conclusiones y sugerencias | 13 |
| Bibliografía..... | 14 |

1. Introducción

El estudio de los efectos en la salud provocados por la contaminación del aire ha sido realizado en diversas ciudades del mundo, fundamentalmente con estudios epidemiológicos (1). Estos estudios han arrojado resultados consistentes en cuanto a la responsabilidad de las partículas contaminantes (PM) como el contaminante criterio que mejor representa a la mezcla de contaminantes existente en aire y que mejor correlaciona con los efectos nocivos en la salud.

Aunque en un inicio los estudios no detectaban diferencias importantes entre los efectos observados en diferentes ciudades del mundo, mejoras recientes en las metodologías empleadas han permitido evidenciar variaciones significativas en los efectos observados entre ciudades (2). Estas diferencias parecieran estar relacionadas con la composición de la mezcla existente en las partículas de cada una de las ciudades estudiadas (2, 3).

Estudios más recientes han incorporado en su análisis otros componentes de las PM, que van más allá del criterio estándar de masa y que incluyen: carbono orgánico y elemental; algunos iones y algunos metales. Los resultados parecen confirmar que la composición de las partículas pudiera explicar la variabilidad en el impacto en la salud, dependiendo de las características propias de cada ciudad (4). Este último punto adquiere relevancia no solo desde el punto de vista de la salud pública, sino que también representa un área de oportunidad en los aspectos regulatorios del problema al poder identificar fuentes o procesos que contribuyan en mayor o menor grado en agravar la toxicidad de la mezcla de contaminantes. Algunos aspectos que no han acompañado adecuadamente a estos estudios son: la evaluación toxicológica experimental de las PM; la evaluación del papel de algunos compuestos orgánicos, así como la variabilidad geográfica y estacional de la composición y efectos tóxicos en una ciudad. Estudios de este tipo podría confirmar el peso específico del potencial tóxico de la mezcla particular de una Ciudad y el peso relativo de los principales compuestos que la forman.

Existen muy pocos ejemplos en la literatura al respecto; sin embargo, el estudio mas importante donde se ha demostrado la importancia de los metales presentes en las partículas, fue realizado en Utah y la información arrojada por las pruebas toxicológicas resultó contundente (5). Esfuerzos similares en nuestro país son prácticamente inexistentes, no solo en la evaluación epidemiológica de los efectos a la salud en diversas ciudades, sino en las comparaciones de la composición y de los efectos toxicológicos de sus PM.

2. Justificación

En México se cuenta con cierta experiencia que ha contribuido a comprender la participación relativa del tamaño y la composición por 16 elementos componentes de PM y sus efectos toxicológicos *in Vitro*, indicando que tanto la composición como el tamaño, son responsables de patrones de respuesta característicos (6-8). Estos estudios han demostrado que algunos elementos característicos del suelo imponen un potencial tóxico diferente al inducido por mezclas más urbanas (8). Sin embargo, poco sabemos de la participación de otros compuestos mas difíciles de medir y que podrían tener repercusiones sobre padecimientos como el cáncer, específicamente los hidrocarburos aromáticos policíclicos. Debido a todos estos puntos consideramos relevante la evaluación toxicológica de las PM de la Ciudad de México en donde existan diferentes fuentes de emisión que impacten diferencialmente en la composición de las PM y en sus efectos toxicológicos y su variabilidad mensual. Esto podría fundamentar medidas de control para ciertas fuentes de emisión específicas y dar sustento a futuros estudios epidemiológicos que incorporen en su diseño variables de estacionalidad, composición y tamaño de las PM.

En el Valle de México, donde frecuentemente se rebasan las normas de calidad del aire, se cuenta con una red de monitoreo atmosférico que mide la concentración de PM con una amplia cobertura territorial y una alta resolución temporal, lo que permite obtener muestras de PM de origen diverso a lo largo de todo el año.

3. Objetivos

La presente propuesta tiene como objetivo principal evaluar la toxicidad de las muestras de PM (PM_{10} y $PM_{2.5}$) colectadas en cinco sitios del Valle de México con diferentes fuentes de emisión predominantes en tres meses consecutivos de la temporada secas-caliente del 2009.

Para llevar a cabo el objetivo principal fue necesario definir en la primera etapa del estudio, que se reporta en el primer informe parcial, las condiciones y sitios de muestreo que mejor cumplieron con las características para crear los contrastes necesarios para el estudio.

4. Alcances y consideraciones

La primera etapa del estudio se centro en la identificación cuidadosa de los sitios en los que se obtuvieron las muestras de las $PM_{2.5}$ necesarias para el estudio. Independientemente de escoger los sitios de acuerdo a las actividades y fuentes de emisión características de cada una de ellas, también se consideraron condiciones como: accesibilidad, seguridad, disponibilidad de datos complementarios en cuanto a niveles atmosféricos de PM y datos meteorológicos durante el periodo de muestreo.

La identificación de estos sitios resulto fundamental para iniciar la segunda fase del estudio.

La segunda fase de este estudio ha permitido identificar la variabilidad estacional y espacial de los niveles de PM en la Ciudad de México. Llama la atención que la zona norte presenta niveles mas elevados independientemente de las variaciones semanales observadas en los cinco sitios estudiados. De igual manera llama la atención que la zona poniente de la Ciudad no cuenta con sitios de muestreo suficientes. Este estudio corrobora nuestras observaciones anteriores sobre el comportamiento mas homogéneo de las $PM_{2.5}$ en relación al de las PM_{10} . Esto es particularmente relevante al considerar un comportamiento similar en el potencial tóxico de las PM. Hay que señalar que los niveles encontrados durante el muestreo no permitieron obtener la cantidad suficiente de PM para experimentación considerando patrones semanales. Las cantidades obtenidas

solo permiten experimentar con PM acumuladas durante el muestreo de tres semanas. La zona que fundamentalmente limitó el estudio semanal de las PM fue la zona sur. Este es un punto muy relevante para cuando se consideren estudios de impactos en la salud.

5. Metodologías

En la primera etapa se recurrió a fuentes documentales para identificar las estaciones de monitoreo del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT) (9) y otros sitios en donde podríamos ubicar nuestros muestreadores.

Una vez ubicados los sitios potencialmente útiles para el estudio, se tuvieron reuniones con el personal del SIMAT para conocer si los sitios de interés cumplían con los requisitos de accesibilidad, seguridad, disponibilidad de acceso a corriente eléctrica suficiente para nuestros muestreadores, existencia de datos sobre niveles atmosféricos de contaminantes criterio y datos meteorológicos.

Una vez identificados los sitios adecuados, se procedió a desplegar su ubicación (longitud y latitud) sobre una imagen aérea de la Ciudad de México (obtenida de Google Earth) en la que además se crearon polígonos delimitados por las estaciones de monitoreo del SIMAT en las que se miden PM_{10} y $PM_{2.5}$, a través de la herramienta Convex Hull del paquete de ArcView GIS 3.2 (10). También agregamos otra capa generada en el INE en la que se despliegan las áreas de influencia promedio asignadas (o áreas de representatividad espacial) a cada una de las estaciones de monitoreo de acuerdo a la clasificación del SIMAT, basada en los criterios de la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos y homologada con los criterios de la Agencia Ambiental Europea (EEA) como: urbana, suburbana y semi-rural, cada una cubre un radio de influencia de 1 km, 3 km y 15 km respectivamente (11, 12 y 13).

6. Resultados

Se identificaron cinco sitios que cumplieron con los criterios de selección:

1. *Norte*: Se seleccionó el CINVESTAV (19° 30' 37.62" N, 99° 07' 47.16" W),
2. *Centro*: La estación MERCED (19° 25' 26.02" N, 99° 07' 07.68" W),
3. *Sur*: Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, Ciudad Universitaria - CU(19° 19' 34.69" N, 99° 10' 33.30" W),
4. *Oriente*: La estación Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa - CENICA (19° 21' 41.58" N, 99° 04' 16.80" W), y
5. *Poniente*: La estación PLATEROS (19° 22' 01.00" N, 99° 11' 60.00" W).

La elección del CINVESTAV y de Ciudad Universitaria obedece a que tenemos datos históricos de la toxicidad de las PM colectadas en esos sitios, además de su buena accesibilidad y seguridad. Aunque en estos sitios no existen monitores del SIMAT, en ambos sitios hemos trabajado con datos referenciados a las estaciones del SIMAT identificadas como Pedregal y ENEP-Acatlán.

En el mapa (figura 1) se despliega la localización de los cinco sitios de muestreo seleccionados, al mismo tiempo se observan los polígonos generados con la localización de las estaciones para PM_{10} y $PM_{2.5}$ ubicadas en los sitios mas extremos y que están coloreados en amarillo y verde, respectivamente. Los círculos observados en la figura representan el área de influencia cubierta por cada una de las estaciones. Los círculos mas grandes representan un área de 28.27 km^2 (círculos de 3 km de radio) y los mas pequeños un área de 3.14 km^2 (círculos de 1 km de radio). Aquellos en color lila son para estaciones que miden PM_{10} y los amarillos $PM_{2.5}$.

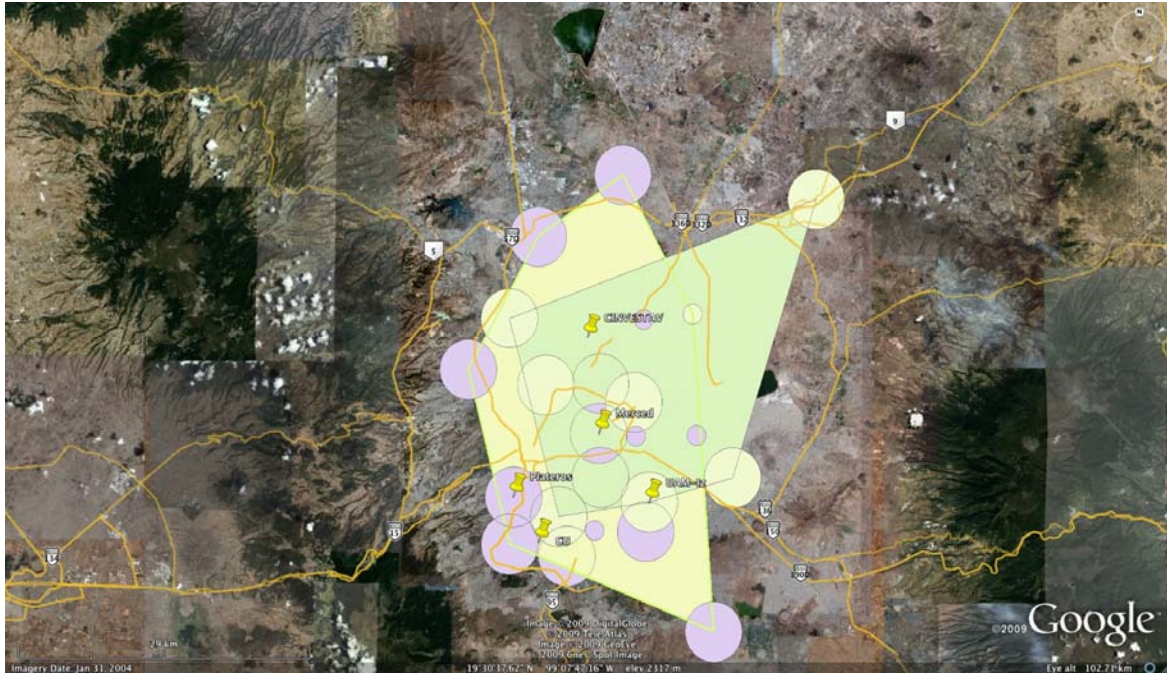


Figura 1. Sitios de muestreo seleccionados, polígonos y áreas de influencia de las estaciones de monitoreo de PM_{10} y $PM_{2.5}$ del SIMAT

Los niveles de PM en el aire en cada semana de muestreo en las vecindades de los cinco sitios seleccionados se presentan en las figuras 2 y 3. Se observa una clara variación semanal en los niveles de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en los cinco sitios seleccionados. Se observa que las diferencias entre un sitio y otro son mayores para las PM_{10} que para las $PM_{2.5}$, indicando un comportamiento más homogéneo de las $PM_{2.5}$, se aprecian diferencias importantes entre los niveles más altos (en el norte, XAL) y los niveles más bajos (en el sur, PED) de las PM_{10} . Tanto en las PM_{10} como en las $PM_{2.5}$ se observa un patrón bi-modal indicativo de la variación estacional.

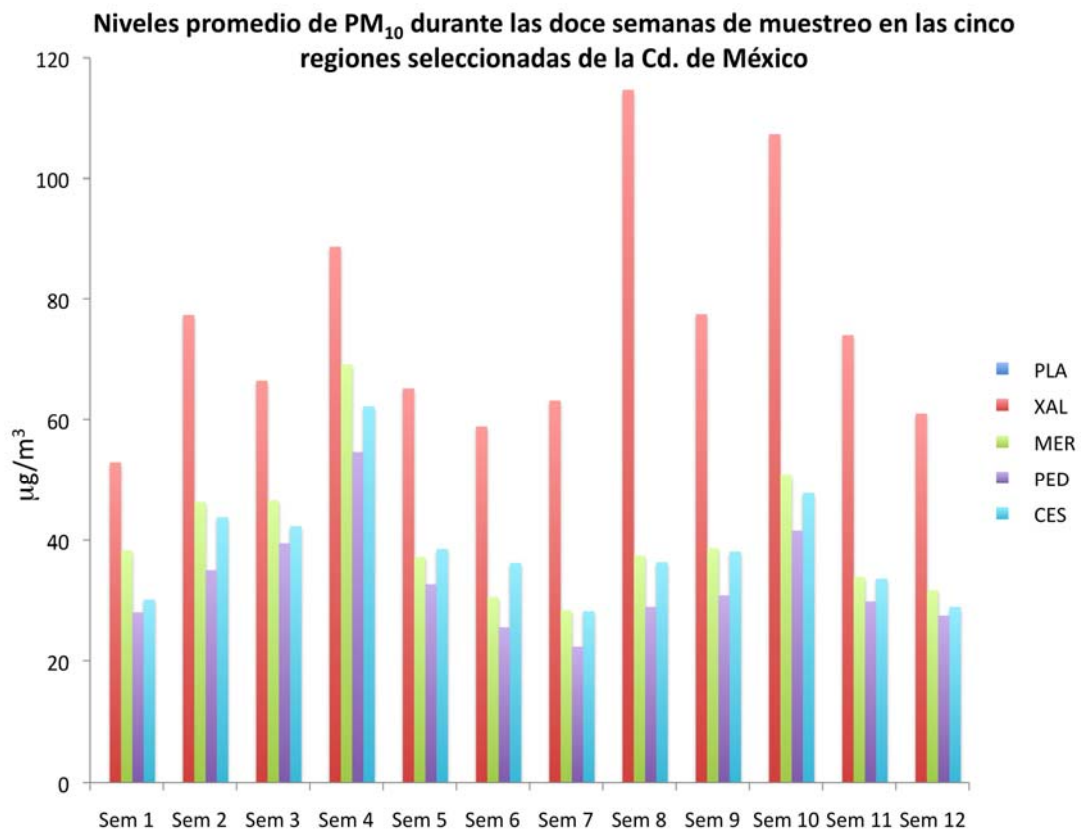


Figura 2. Niveles promedio de PM₁₀ en las cinco zonas de la Ciudad escogidas para este estudio.

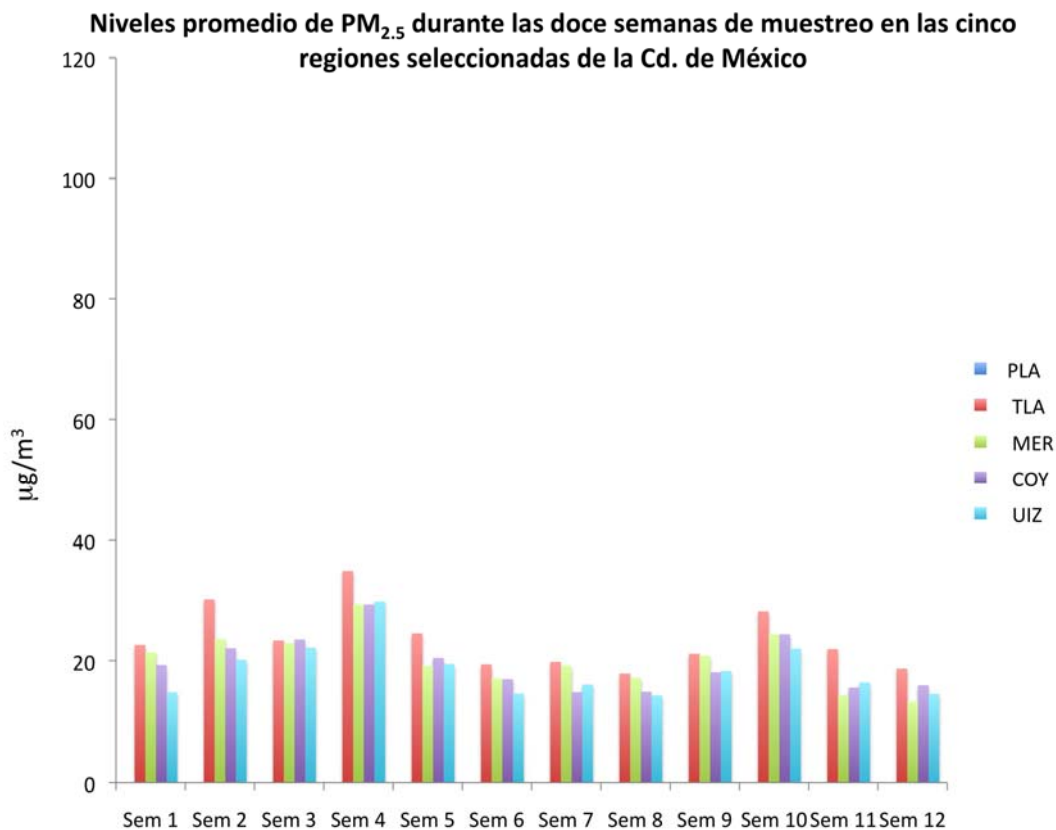


Figura 3. Niveles promedio de PM_{2.5} en las cinco zonas de la Ciudad escogidas para este estudio.

Con relación las muestras obtenidas para la caracterización toxicológica nos enfrentamos al problema de poder coleccionar el mínimo de 4 mg requerido por semana para realizar los análisis de composición y toxicidad. Esto obliga a trabajar con muestras agrupadas cada tres semanas, dejando un total de cuatro muestras por sitio y por tamaño, en vez de las 12 esperadas. El cuadro 1 indica la cantidad de membranas con muestras obtenidas por sitio y semana, y en el cuadro 2 se pueden ver las cantidades recuperadas en cada semana. Al observar las cantidades de PM_{2.5} recuperadas se puede ver que las cantidades de muestra mas bajas corresponden a las del sitio de CU.

Cuadro1. Número de membranas con muestra obtenida en los cinco sitios de la Ciudad de México seleccionados para el estudio

| Semana | PLATEROS | | CINVESTAV | | CU | | MERCED | | CENICA | |
|--------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | PM ₁₀ | PM _{2.5} | PM ₁₀ | PM _{2.5} | PM ₁₀ | PM _{2.5} | PM ₁₀ | PM _{2.5} | PM ₁₀ | PM _{2.5} |
| 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 3 | 3 | 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 |
| 6 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| 7 | 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| 8 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 9 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| 10 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 |
| 11 | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| 12 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 |
| Total | 36 | 36 | 26 | 25 | 18 | 16 | 31 | 31 | 28 | 25 |

Cuadro 2. Cantidades de PM obtenidas de las membranas en los cinco sitios de la Ciudad de México seleccionados para el estudio

| Semana | PLATEROS | | CINVESTAV | | CU | | MERCED | | CENICA | |
|--------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | PM ₁₀ | PM _{2.5} | PM ₁₀ | PM _{2.5} | PM ₁₀ | PM _{2.5} | PM ₁₀ | PM _{2.5} | PM ₁₀ | PM _{2.5} |
| 1 | 0 | 7.91 | 0 | 4.17 | 2.3 | 2.87 | 0 | 5.48 | 14.96 | 5.63 |
| 2 | 0 | 4.24 | 0 | 6.52 | 0 | 6.15 | 0 | 6.02 | 18.24 | 3.83 |
| 3 | 0 | 7.85 | 0 | 0 | 32.94 | 3.09 | 0 | 4.39 | 7.93 | 5.64 |
| 4 | 0 | 13.15 | 0 | 4.26 | 43.33 | 1.78 | 0 | 9.21 | 13.41 | 5.13 |
| 5 | 0 | 0.5 | 0 | 5.79 | 22.47 | 2.78 | 0 | 8.01 | 6.59 | 4.85 |
| 6 | 0 | 0.68 | 0 | 1.91 | 33.59 | 2.5 | 0 | 10.32 | 5.12 | 4.65 |
| 7 | 0 | 5.43 | 0 | 16.7 | 15.37 | 0.66 | 0 | 17.38 | 3.95 | 8.56 |
| 8 | 0 | 13.11 | 0 | 1.31 | 22.7 | 1.71 | 0 | 19.55 | 10.73 | 7.61 |
| 9 | 0 | 7.52 | 0 | 2.04 | 29.36 | 3.87 | 0 | 19.81 | 7.67 | 8.22 |
| 10 | 0 | 5.77 | 0 | 4.34 | 52.99 | 7.09 | 0 | 13.09 | 17.06 | 8.52 |
| 11 | 0 | 17.87 | 0 | 19.14 | 35.27 | 4.5 | 0 | 1.45 | 13.47 | 5.99 |
| 12 | 0 | 4.18 | 0 | 1.48 | 12.45 | 3.62 | 0 | 1.32 | 12.2 | 1.79 |
| Total | 0 | 88.21 | 0 | 67.66 | 302.77 | 40.62 | 0 | 116.03 | 131.33 | 70.42 |

Nota: Los 0 indican datos incompletos al momento de elaboración del documento.

7. Análisis de resultados

Se identificaron cinco sitios de la Ciudad en los que llevaron a cabo los muestreos necesarios para obtener PM para realizar los análisis de composición y toxicidad. Estos sitios garantizaron un muestreo para documentar la variabilidad estacional y regional de los niveles de PM en áreas de la ciudad con distintas actividades y posibles fuentes de emisión. Al mismo tiempo tienen buena accesibilidad y seguridad, cuentan con datos de otros contaminantes y meteorológicos *in situ* o con una proximidad aceptable. En tres de ellos (CINVESTAV, Merced y CU) contamos con datos históricos de composición y toxicidad.

El despliegue en el mapa de los polígonos que incluyen las áreas de la ciudad en las que hay monitores para PM₁₀ y PM_{2.5} da una idea de la superficie que queda cubierta con esos monitores. Sin embargo, la representación gráfica de las áreas de influencia indica que la cobertura no es homogénea, punto que se tomará en cuenta cuando se tengan los resultados finales. Esto impone un límite en cuanto a la representatividad de las muestras; sin embargo, la ubicación de los sitios de muestreo es una realidad con la que tenemos que trabajar y quizás este tipo de estudios ayuden a redefinir mejor su ubicación.

La variabilidad estacional observada aplica de igual manera para las dos fracciones de PM estudiadas. Habiendo mas variabilidad entre sitio y sitio para las PM₁₀ y un comportamiento mas homogéneo de las PM_{2.5}, ya ha sido reportado que lo anterior redundaba en el potencial tóxico de ambas fracciones.

La cantidad de partículas recuperadas también es variable y no parece relacionarse con los niveles en el aire. Esto podría estar relacionado con las características de su composición que favorezcan una mayor adherencia de las PM a los filtros. Esta observación permite reconocer una limitación real para el estudio de las PM con intervalos de muestreo menores a tres semanas.

8. Conclusiones y sugerencias

En conclusión, hemos identificado cinco sitios de muestreo de PM que permite distinguir las variaciones estacionales y geográficas dentro de la Ciudad de México.

Los métodos disponibles para el análisis toxicológico de las PM no permite obtener las cantidades de muestra necesarias para trabajar comparativamente con unidades de tiempo de muestreo menores a tres semanas.

Los patrones observados indican que existen mayores niveles de PM en el norte que en el resto de la ciudad y que los patrones de respuesta a las PM varían de acuerdo al sitio, tamaño y semana de muestreo (7, 8, 9).

El comportamiento de las $PM_{2.5}$ es mas homogéneo que el de las PM_{10} .

A pesar de los avances, la caracterización química de las muestras de PM requiere de ser mas exhaustiva para identificar con mas claridad la variación estacional de las emisiones de acuerdo a su fuente y condiciones climáticas, lo que representaría un mayor tiempo de muestreo y un mayor costo.

Bibliografía

1. Pope CA, 3rd, Dockery DW. 2006. Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect. *J Air Waste Manag Assoc* 56(6):709-742.
2. Dominici F, Peng RD, Bell ML, Pham L, McDermott A, Zeger SL, et al. 2006. Fine particulate matter and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases. *JAMA* 295:1127–1134.
3. Peng RD, Dominici F, Pastor-Barriuso R, Zeger SL, Samet SM. 2005. Seasonal analyses of air pollution and mortality in 100 US cities. *Am J Epidemiol* 161:585–594.
4. Lippmann M. 2008. Semi-continuous speciation analyses for ambient air particulate matter: An urgent need for health effects studies. *J Expo Sci Environ Epidemiol*; doi: 10.1038/jes.2008.65.
5. Ghio, A.J. 2004. Biological Effects of Utah Valley Ambient Air Particles in Humans: A Review; *J. Aeros. Med.* 17, 157-164.
6. Osornio-Vargas AR, et al. 2003. Proinflammatory and cytotoxic effects of Mexico City air pollution particulate matter in vitro are dependent on particle size and composition. *Environ Health Perspect* 111:101289-93.
7. Rosas I, Serrano J, Alfaro-Moreno E, Baumgardner D, Garcia-Cuellar C, Miranda J, Raga G, Castillejos M, Drucker R, Osornio Vargas A. 2007. Relations between PM10 composition and cell toxicity: A multivariate and graphical approach. *Chemosphere* 67(6):1218-1228.
8. Osornio-Vargas AR, Serrano J, Rojas-Bracho L, Flores G, Miranda J, Zuk M, Vázquez I, Sánchez-Pérez Y, García-Cuellar C, Reyna MA, Quintero M, López T, Rosas I. 2007. Toxicological Evaluation of PM2.5 and PM10 in the City of Mexicali and its Correlation with Soil Content. A study to evaluate and direct control measures. *LASPAU* 2005 – 2007. http://www.ine.gob.mx/dgicur/calair/otros_est.html
9. SIMAT <http://www.sma.df.gob.mx/simat2/informaciontecnica/>
10. Jenness Enterprises 2009, consultado en marzo de 2009. http://www.jennessent.com/arcview/convex_hulls.htm
11. EEA, 1999. Criteria for EUROAIRNET, The EEA Air Quality Monitoring and Information Network. <http://www.eea.europa.eu/publications/TEC12>
12. EPA. 2008. Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems. <http://www.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/pm25/qa/QA-Handbook-Vol-II.pdf>
13. GDF-SMA. 2004. Rediseño del sistema de monitoreo atmosférico (SIMAT)