

## **Comportamiento de las fracciones fina y gruesa de PM<sub>10</sub> en la estación de monitoreo de calidad del aire en Centro Habana. Campaña 2006-2007**

### ***PM<sub>10</sub> AND THEIR CONSTITUENT FRACTIONS OF FINE AND COARSE PARTICLES IN A ZONE OF THE CENTER OF HAVANA (CUBA)***

Enrique MOLINA ESQUIVEL,<sup>1</sup> Grizel PÉREZ ZAYAS,<sup>2</sup> Miriam MARTÍNEZ VARONA,<sup>1</sup> Ibrahim PIÑERA HERNÁNDEZ,<sup>2</sup> Rolando GUIBERT GALA,<sup>2</sup> Francisca ALDAPE UGALDE,<sup>3</sup> Javier FLORES MALDONADO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología, La Habana (Cuba). Correo-e: emolina@inhem.sld.cu

<sup>2</sup> Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear, La Habana (Cuba).

<sup>3</sup> Laboratorio de Análisis PIXE. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares de México.

#### **RESUMEN**

Las partículas en suspensión menores de 10 µm (PM<sub>10</sub>) constituyen el tipo de contaminación atmosférica que con mayor consistencia ha sido asociado a nivel mundial a un mayor número de efectos agudos y crónicos sobre la salud; estudios realizados en la ciudad de La Habana han reportado altas concentraciones de PM<sub>10</sub>, asociadas a la morbilidad y mortalidad por diferentes afecciones. Con el objetivo de describir la masa de PM<sub>10</sub> y de sus fracciones constituyentes de partículas finas y gruesas en una zona del centro de la ciudad de La Habana durante seis meses se realizó el monitoreo sistemático de las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> y sus fracciones fina y gruesa, mediante el método gravimétrico, con el empleo de un muestreador secuencial modelo Gent; el análisis incluyó la cuantificación, descripción de la distribución de las concentraciones, medidas de tendencia central, percentiles de PM<sub>10</sub> y de sus fracciones fina y gruesa, frecuencia de trasgresión de valores guías (VG) OMS y el coeficiente de correlación entre las concentraciones de las fracciones fina y gruesa. Los resultados mostraron concentraciones de PM<sub>10</sub> inferiores a las reportadas en esa estación de monitoreo en años recientes, no exentas de riesgos para la salud, con un 6.0 % de trasgresión del VG OMS, así como gran predominio de la fracción de partículas gruesas sobre las finas, lo que denota escaso control de emisiones.

**Palabras clave:** Contaminación del aire, partículas en suspensión, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, análisis gravimétrico.

#### **ABSTRACT**

The particulate matter smaller than 10 µm diameter (PM<sub>10</sub>) a world-wide level constitute the atmospheric contamination type that has been associated to a greater number of acute and chronic effects on the health; studies in Havana city have reported high concentrations of PM<sub>10</sub>, associated to the morbidity and mortality by different affections. With the objective to describe the mass of PM<sub>10</sub> and their constituent fractions of fine and coarse particles in a zone of the center of Havana city during six months, it was made the systematic monitoring of the of PM<sub>10</sub> daily concentrations and its fine and coarse fractions, by means of gravimetric method, with the use of a sequential Gent PM<sub>10</sub> sampler equipment; the analysis included the quantification, description of the distribution of the concentrations, measures of central tendency, percentiles of PM<sub>10</sub> and their fractions fine and coarse, frequency of WHO's values guides (VG) transgressions, as well as the correlation coefficient between the concentrations of the fractions fine and coarse. The results showed PM<sub>10</sub> concentrations lower than the reported ones in that air

monitoring station in recent years, non free of health risks, with VG WHO 6,0 % transgressions for PM<sub>10</sub>, as well as great predominance of the fraction of heavy particles on the fine ones, which denotes an inefficient emission's control.

**Key words:** Air pollution, particulate matter, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, gravimetric analysis.

## INTRODUCCIÓN

Las partículas en suspensión (PS), también conocidas en la literatura especializada como PM por sus siglas en inglés (particulate material) constituyen el tipo de contaminación atmosférica que a nivel mundial ha sido asociado con mayor consistencia a la incidencia de diversos efectos agudos y crónicos sobre la salud de la población y grupos de riesgo, aún a concentraciones relativamente bajas, antaño consideradas como inocuas, dando lugar a numerosas *funciones exposición – respuesta* relativamente similares, provenientes de múltiples estudios relevantes.<sup>1,2</sup> Debido a la implementación de medidas de prevención y control de emisiones aplicadas, principalmente en los países desarrollados, las concentraciones de PM tienden a ser mayores en las ciudades del mundo en desarrollo.<sup>3,4,5</sup>

Las partículas en suspensión tienen una composición química diversa; tanto ésta como su tamaño varían en función del tipo de fuente. En general tienen una distribución trimodal. Según su diámetro aerodinámico ( $\emptyset$ ) las PS se clasifican en: *ultra finas* ( $\leq 0.1\mu\text{m}$ ), cuyo impacto en salud no es bien conocido; a su vez las *partículas finas* (consideradas como las de mayor impacto en la salud) incluyen dos indicadores: las PM<sub>1</sub> (también llamadas *partículas alveolares*) y las  $\leq$  PM<sub>2.5</sub>; las partículas *torácicas o inhalables* ( $\leq 10\mu\text{m}$ ), denominadas como PM<sub>10</sub>; y por último las *partículas gruesas* ( $> \text{PM}_{10}$ ), de escaso valor por su impacto sobre la salud, dada su baja capacidad de penetración en las vías aéreas y la rápida velocidad de sedimentación. A su vez, las PM<sub>10</sub> se subdividen en la *fracción fina* o “*respirable*” (PM<sub>2.5</sub>) y la *fracción gruesa* ( $> 2.5 - \leq 10\mu\text{m}$ ).<sup>6,7</sup>

Se reconoce la mayor patogenicidad de las partículas *finas* (PM<sub>1</sub> y PM<sub>2.5</sub>), por su capacidad de penetración hasta las zonas más distales y vulnerables del aparato respiratorio, mayor dificultad para su remoción y la consiguiente duración y superficie de contacto con el tejido pulmonar. También la forma alargada (fibras) dificulta la remoción de las partículas. Otro factor importante es la composición química, incluyendo por supuesto la reactividad y propiedades tóxicas específicas de sus componentes, lo que a su vez está determinado por los tipos de fuentes emisoras.<sup>7,8</sup>

La Ciudad de La Habana posee una alta densidad de población urbana y suburbana, un considerable parque vehicular, caracterizado por una alta proporción de vehículos obsoletos y con deficiente estado técnico, a la par de la recuperación de industrias

locales y otras ubicadas a barlovento, con ineficiente control de emisiones de partículas. Asimismo cuenta con un fondo habitacional con deficiente mantenimiento y obras constructivas desprotegidas, cuyas superficies, bajo la acción erosiva del viento, constituyen importantes áreas potenciales de emisión de partículas; estudios realizados en ésta han reportado concentraciones de PM<sub>10</sub> que superan los valores guía establecidos por la OMS,<sup>9</sup> asociadas tanto a indicadores de morbilidad respiratoria aguda y crónica,<sup>10,11,12,13</sup> como a la mortalidad por enfermedades cardiovasculares y respiratorias,<sup>14</sup> e incluso al riesgo de cáncer pulmonar.<sup>15</sup> Por todo lo anterior, resulta de interés sanitario conocer las proporciones de partículas finas y gruesas constituyentes de la masa total de las PM<sub>10</sub>, lo cual constituyó el objetivo del presente estudio, dado el diferenciado potencial patogénico de ambas fracciones, así como por contribuir en alguna medida a identificar la contribución relativa de diferentes tipos de fuentes, con vistas a la adopción de acciones de control.

## MATERIAL Y MÉTODOS

En el período de noviembre 2006 – abril 2007, se realizó el monitoreo sistemático de PM<sub>10</sub> durante 24 horas (cada segundo día) en la estación de monitoreo de contaminantes del aire ubicada en el municipio Centro Habana, zona céntrica, densamente poblada y con apreciable flujo vehicular de la ciudad de La Habana.

El método analítico empleado fue el gravimétrico de bajo volumen, utilizando un muestreador de partículas modelo Gent,<sup>16</sup> diseñado para colectar simultáneamente las fracciones *fina* y *gruesa* de PM<sub>10</sub>, consistente en un plato impactor inercial con punto de corte para el 50 % de las partículas de 10  $\mu\text{m}$  de  $\emptyset$  a un flujo de 16,7 lpm, seguido de una caseta con dos filtros en serie, en este caso de policarbonato (Nucleopore), con diámetros de poro de 8 y 0,4  $\mu\text{m}$  respectivamente, con el propósito de colectar, de forma sucesiva, las fracciones *gruesa* ( $> 2.5 - \leq 10\mu\text{m}$ ) y *fina* (PM<sub>2.5</sub>) de PM<sub>10</sub>. La evaluación de la masa de PM<sub>10</sub> y de sus fracciones se realizó mediante el pesaje de los filtros en una microbalanza antes y después del muestreo, en ambos casos previo acondicionamiento en condiciones de microclima controladas, a temperatura de 22°C  $\pm$  2 C° y humedad relativa de 37 %  $\pm$  3%. El presente constituyó el primer estudio reportado de las fracciones gruesa y fina de PM<sub>10</sub> realizado en Cuba.

**Tabla 1.** Valores guía de calidad del aire. Organización Mundial de la Salud. Actualización mundial 2005 para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>.

Fracción de partículas	Valores guía OMS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
PM <sub>10</sub>	Media anual	20
	24 horas (percentil 99)	50
PM <sub>2.5</sub>	Media anual	10
	24 horas (percentil 99)	25

Fuente: Organización Mundial de la Salud. Guías de calidad del aire, actualización mundial 2005. Informe de grupo de trabajo en Bonn, Alemania, Octubre 2005. Washington, D.C.: OPS; 2007.

El análisis estadístico de las distribuciones de las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> y de sus fracciones fina y gruesa incluyó algunos indicadores de tendencia central, valores extremos, percentiles seccionados, la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, así como el coeficiente de correlación no paramétrica rho de Spearman. Al no existir en la norma sanitaria cubana actual,<sup>17</sup> concentraciones máximas admisibles para PM<sub>10</sub> ni PM<sub>2.5</sub>, se consideraron como valores de referencia los establecidos

en las *guías de calidad del aire* por la Organización Mundial de la Salud (VG OMS) en su actualización del año 2005<sup>9</sup> para determinaciones de 24 horas; de modo ilustrativo, se realizó lo mismo tomando como referencia los VG OMS para promedios anuales, asumiendo que estos resultados no difieran sustancialmente del período anual, dada la escasa estacionalidad que ha caracterizado el comportamiento de de PM<sub>10</sub> en anteriores estudios.<sup>12,14,18</sup>

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los indicadores de tendencia central y extremos (Tabla 2) las concentraciones de PM<sub>10</sub> en el período de estudio resultaron inferiores a los reportados en esa misma estación de monitoreo en años recientes,<sup>12,14,18</sup> lo que pudiera corresponderse con la reducción del tránsito vehicular en las avenidas cercanas, debida a medidas de reordenamiento vial, la desactivación de algunas pequeñas fuentes industriales aledañas, así como por una mayor precisión de las determinaciones gravimétricas, incluida la corrección más precisa del contenido de humedad, al ser procesados los filtros con todos los requisitos técnicos establecidos para este proceder técnico.

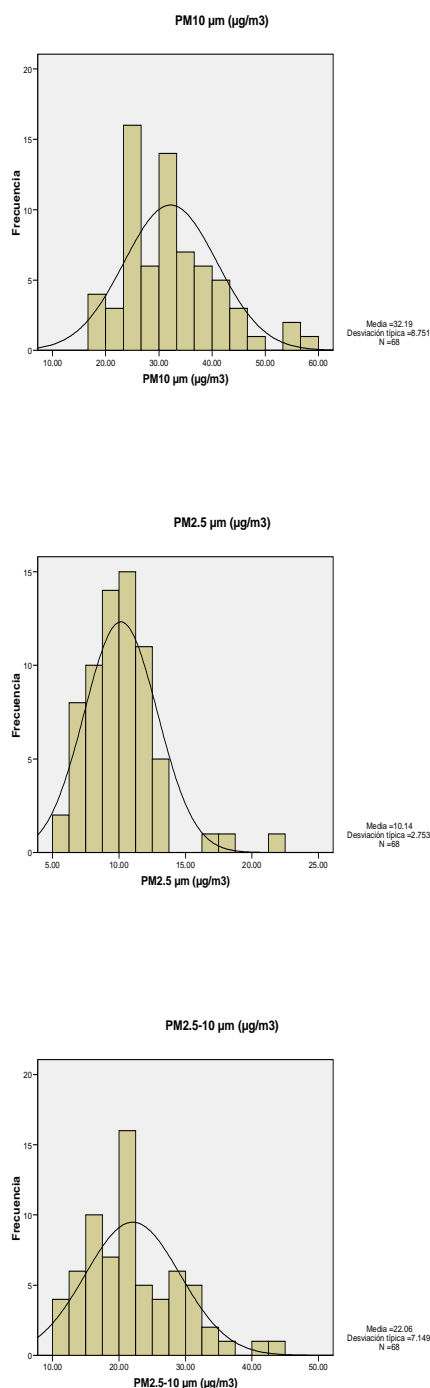
**Tabla 2.** Descriptores estadísticos de partículas menores de 10  $\mu\text{m}$  (PM<sub>10</sub>) y sus fracciones *fina* (PM<sub>2.5</sub>) y *gruesa* (PM<sub>2.5-10</sub>). Centro Habana, noviembre 2006 – abril 2007.

		Concentraciones ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de PM <sub>10</sub> y fracciones		
		PM <sub>2.5</sub> $\mu\text{m}$	PM <sub>2.5-10</sub> $\mu\text{m}$	PM <sub>10</sub> $\mu\text{m}$
Número de observaciones		68	68	68
Media		10.14	22.06	32.19
Mínimo		5.90	10.90	18.40
Máximo		22.40	44.20	59.80
Percentiles	25	8.35	17.05	25.5
	50	9.95	20.65	30.95
	75	11.40	26.55	37.67
	95	15.64	36.13	50.90
	99	22.40	44.20	59.80
Frecuencia que excede VG OMS para 24 horas		0.0 %	No se aplica	6.0 %
Magnitud que excede VG OMS (media anual)		0.14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		12.19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

En el caso de PM<sub>10</sub> el 6.0 % de las determinaciones superó el VG OMS para 24 horas, en tanto que para PM<sub>2.5</sub> ello ocurrió en el 2.0 %.<sup>9</sup> Estas concentraciones de PM<sub>10</sub> no pueden ser consideradas como inocuas, a la luz de los hallazgos de numerosos estudios extranjeros, que ponen en duda la existencia

de un umbral de seguridad para este tipo de contaminación, los que muestran incrementos de riesgo de morbilidad y mortalidad, tanto aguda como crónica, aún a concentraciones inferiores a las observadas.<sup>2,3,4,6,7,8,19,20,21,22</sup>

**Figura 1.** Histogramas de las concentraciones de PM<sub>10</sub> y sus fracciones fina (PM<sub>2,5</sub>) y gruesa (PM<sub>2,5-10</sub>). Centro Habana, noviembre de 2006 – abril 2007.



Debe recalcar que los VG OMS actualizadas en el año 2005 para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> no constituyen niveles de umbral seguros, sino una propuesta de niveles máximos de exposición compatibles con una signifi-

cativa reducción de los riesgos de morbilidad y mortalidad asociados, de acuerdo con la evidencia epidemiológica mundial que sustentó la modificación de los VG OMS, tal como aparece descrito en el documento de referencia.<sup>9</sup>

La distribución de las concentraciones de PM<sub>10</sub> y sus fracciones gruesa y fina (Figura 1) mostró distribuciones relativamente asimétricas, que de acuerdo con la prueba de Kolmogorov-Smirnov (Tabla 3) solo la fracción gruesa no rechazó la normalidad; estas distribuciones predominantemente asimétricas, con desviaciones hacia la derecha, dadas por la ocurrencia poco frecuente de concentraciones superiores a las habituales, son características de todos los contaminantes atmosféricos.<sup>3</sup>

**Tabla 3.** Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov para las distribuciones de las concentraciones de PM<sub>10</sub> y sus fracciones fina (PM<sub>2,5</sub>) y gruesa (PM<sub>2,5-10</sub>).

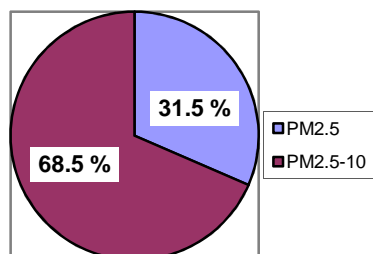
Fracción de PM <sub>10</sub>	Estadístico	g.l.	Significación
PM <sub>10</sub>	0.104	68	0.067
PM <sub>2,5</sub>	0.103		0.072
PM <sub>2,5-10</sub>	0.121		0.015

La proporción de las fracciones fina y gruesa con respecto a la masa total de PM<sub>10</sub> (Figura 2) mostró que las PM<sub>2,5</sub> solo representaron el 31,5 % de la masa total, constituyendo apenas el 46 % de la masa de la fracción gruesa. Lo anterior contrasta con el predominio de la fracción fina sobre la gruesa reportada tanto en ciudades de "países desarrollados" como "en desarrollo".<sup>1,20</sup>

Este amplio predominio de la fracción de partículas gruesas sobre la fina de MP<sub>10</sub> es característico de los denominados países "subdesarrollados", en los que factores tales como el ineficiente control de emisiones de partículas en las industrias y los vehículos de motor, la existencia de calles sin pavimentar u otras superficies descubiertas de vegetación, las que son objeto de erosión por los vientos,<sup>4,5,6</sup> a diferencia de lo observado en los países de alto desarrollo económico, en los que, a pesar de la importante influencia del transporte vehicular y la presencia de fuentes industriales, el cumplimiento de normas de emisión de partículas y el empleo de eficientes dispositivos de control, comúnmente, las PM<sub>2,5</sub> constituyen al menos el 60 % de la masa total de PM<sub>10</sub>.<sup>1,2,3</sup>

Estudios realizados en otras ciudades de América Latina: como Sao Paulo en Brasil (1999), Santiago de Chile (2000) y Buenos Aires, en Argentina (2003),<sup>23</sup> y de países de Asia, como Manila en Filipinas, Hong

**Figura 2.** Porcentajes de las fracciones fina (PM<sub>2.5</sub>) y gruesa (PM<sub>2.5-10</sub>) de las partículas en suspensión de diámetro ≤ 10 μm (PM<sub>10</sub>). Centro Habana, noviembre 2006 – abril 2007.



Kong en China, Hanoi en Vietnam y Cheju en Corea del Sur, incluso con el empleo del mismo dispositivo GENT para el monitoreo de partículas,<sup>24</sup> han reportado proporciones de PM<sub>2.5</sub> / PM<sub>10</sub> claramente superiores a la baja proporción descrita en el presente estudio. Este amplio predominio de las partículas más gruesas, hace pensar en el impacto de fuentes de área ya enunciadas, que la erosión y la acción del viento constituyen las principales emisiones respecto a la masa total de PM<sub>10</sub>, superior a la contribución de las emisiones del transporte automotor y los procesos de combustión de origen industrial, caracterizados por el predominio de partículas finas.<sup>3,4,5,8,15,19,21</sup>

Lo anterior se corrobora por los resultados del análisis elemental de estas mismas muestras mediante la técnica de emisión de rayos X inducidos por partículas (PIXE), según el cual el azufre, asociado a la combustión de combustibles derivados del petróleo, resultó el elemento predominante en la fracción

fina (PM<sub>2.5</sub>) de PM<sub>10</sub>, en tanto que en la fracción gruesa predominaron el calcio, probablemente derivado de las emisiones del suelo y superficies, así como el cloro, que puede reflejar la influencia del aerosol marino, dada la ubicación de la estación de monitoreo a unos dos kilómetros de la costa.<sup>25</sup>

Independientemente de todas las razones enumeradas, es criterio de los autores que el particular diseño del muestreador Gent, consistente en dos filtros de membrana de policarbonato con tamaño de poro uniforme ubicados en serie, que solo difieren entre sí por el tamaño de poro, destinados a la captación secuencial de las fracciones gruesa y fina de PM<sub>10</sub>, pudieran no ser los más eficientes para la captación de PM<sub>2.5</sub> en zonas donde existe un claro predominio de las partículas gruesas, ya que la efectividad de un filtro no depende solo de su material y el diámetro de poro del mismo, sino también de otros factores, tales como de la presión de filtrado y la agregación de las partículas (con lo que aumentan su tamaño); de modo que parte de las PM<sub>2.5</sub> pudieran ser retenidas en el primer filtro, a pesar de poseer un mayor diámetro de poro, conjuntamente con las de mayor Ø, incluidas en la fracción gruesa de PM<sub>10</sub>, esta situación puede ser agravada cuando la cantidad de partículas gruesas acumuladas en este primer filtro sea elevada, con lo que se produce la saturación del mismo, tal como ocurre cuando se realiza un monitoreo ininterrumpido de 24 horas a un flujo relativamente elevado (16,7 lmp) y más aún aquellos días en que los niveles de contaminación por partículas en suspensión resulten elevados, ya sea por incremento de las emisiones puntuales, el predominio de variables meteorológicas locales que bien dificultan la dispersión, fuertes vientos que favorezcan la re-suspensión de partículas gruesas o la combinación de estos factores.

**Tabla 4.** Concentraciones (μg/m<sup>3</sup>) de PM<sub>10</sub> y de sus fracciones fina y gruesa, así como proporciones constituyentes de las mismas con respecto al total según días de la semana laborables o no. Centro Habana, noviembre 2006 – abril 2007.

Días de la semana	Número de determinaciones	Concentraciones (μg/m <sup>3</sup> )			Proporción PM <sub>2.5</sub> / PM <sub>10</sub>
		PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>2.5-10</sub>	PM <sub>10</sub>	
Entre semana	47	10.29	23.27	33.56	0.31
Fines de semana	21	9.59	18.65	28.23	0.35

Tal como se aprecia en la Tabla 4 las concentraciones medias de PM<sub>10</sub> y sus fracciones fina y gruesa tuvieron una ligera reducción en los días de la semana no laborables con respecto a los días laborables, a la par que se produjo un pequeño incremento de la proporción de las partículas más finas con respecto a la masa total de PM<sub>10</sub>, lo que se explica por la mayor rapidez de sedimentación de las partículas más gruesas.<sup>7</sup>

De acuerdo con la magnitud del coeficiente de correlación no paramétrico Rho de Spearman entre las fracciones fina y gruesa de PM<sub>10</sub> = 0.489, nivel de significación (bilateral) = 0,01 puede concluirse que la relación entre las concentraciones diarias de ambas fracciones de partículas resultó moderada, lo que se interpreta por la diversidad de fuentes y condiciones meteorológicas que favorecen la emisión y dispersión de ambos grupos de partículas a nivel local.<sup>18</sup>

Debido a que el período de muestreo (seis meses) no incluyó al menos un ciclo anual completo, no se procedió al análisis de la posible variación estacional de las concentraciones de PM<sub>10</sub> y de sus fracciones. Al no disponer de datos meteorológicos obtenidos en la cercanía del punto de monitoreo, ubicada en el centro de la ciudad, bajo la distorsión de la dirección y velocidad de los vientos ocasionada por efecto de la sombra aerodinámica de las edificaciones cercanas, no se evaluaron las posibles relaciones entre los promedios diarios de PM<sub>10</sub> y sus fracciones fina y gruesa, y el comportamiento de algunas variables meteorológicas, debido a que la estación meteorológica más cercana se encuentra ubicada a unos cinco kilómetros a barlovento del punto de monitoreo, en una elevación próxima a la costa y fuera del efecto modificador de la "isla de calor urbana".<sup>5,13</sup>

## CONCLUSIONES

- 1) Las concentraciones de PM<sub>10</sub> registradas en el período de estudio resultaron inferiores a las reportadas en años anteriores, transgrediendo los VG OMS el 6 % de las determinaciones.
- 2) La fracción de partículas gruesas de PM<sub>10</sub> resultó muy superior a la correspondiente a las partículas finas, lo que denota un escaso o ineficiente control de emisiones en las fuentes.
- 3) La moderada magnitud de la correlación entre las concentraciones sincrónicas de las fracciones gruesa y fina de PM<sub>10</sub> sugiere diversidad de las fuentes emisoras, así como de los factores y mecanismos que determinan la emisión y dispersión de ambos grupos de partículas en esta localización.

## BIBLIOGRAFÍA

1. European Commission Directorate-General for Research Sustainable Energy Systems. ExternE: Externalities of Energy. Methodology 2005 Update. Stuttgart: European Commission; 2005.
2. U.S. Environmental Protection Agency. BenMap. Environmental Benefits Mapping and Analysis Program. User's Manual Appendices, August 2010: US EPA; 2010. Disponible en URL: <http://www.epa.gov/air/benmap/docs.html>
3. European Environment Agency. The European environment state and outlook 2010. Air pollution. Copenhagen: EEA; 2011. ISBN 978-92-9213-152-4.
4. Institute Health Effects International Scientific Oversight Committee. Special Report 18. Outdoor Air Pollution and Health in the Developing Countries of Asia: A Comprehensive Review. HEI; November 2010. Disponible en URL: <http://www.healtheffects.org/>
5. Organización Panamericana de la Salud. Evaluación de los efectos de la contaminación del aire en la salud de América Latina y el Caribe. Washington, D.C: OPS; 2007.

6. Ostro B. World Health Organization. Environmental Burden of Disease Series No. 5: Outdoor air pollution. Assessing the environmental burden of disease at national and local levels. Geneva: WHO; 2004.
7. Pope CA, Dockery DW. Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect *J Air & Waste Manage Assoc* 2006; 56 (June):709-742.
8. Institute Health Effects International. Research Report No. 140. Extended follow-up and spatial analysis of the American Cancer Society study linking particulate air pollution and mortality. HEI; 2009. Disponible en URL: <http://www.healtheffects.org/>
9. World Health Organization. Regional Office for Europe. WHO Air Quality guidelines global update. Bonn: WHO; 2005.
10. Molina E, Milanés A, Pita G, Monterrey P. Asociación entre la contaminación atmosférica y otros factores ambientales con la morbilidad respiratoria y la función pulmonar en niños. En: Memorias del XIII Congreso de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS). La Habana: AIDIS, 1992:141-50.
11. Molina E, Pita G, Monterrey P. Contaminación atmosférica, otros factores ambientales y morbilidad respiratoria en la tercera edad. En: Memorias XIV Congreso de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Buenos Aires: AIDIS, 1994:58-67.
12. Molina E, Brown LA, Prieto V, Bonet M, Cuéllar L. Crisis de asma y enfermedades respiratorias agudas, contaminantes atmosféricos y variables meteorológicas en Centro Habana. *Rev Cubana Med Gen Integr* 2001;17(1):10-20.
13. Molina E, Martínez M, Romero M, García Roché G. Determinantes ambientales de enfermedades respiratorias crónicas en niños y adultos de la ciudad de La Habana. En: Memorias VIII Congreso Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Región I. La Habana: ACIS; 22-25 mayo 2007 (CD-ROM) (ISBN 978-959-7158-684).
14. Meneses E, Molina E. Contaminantes del aire y mortalidad en Ciudad de La Habana. En: Memorias II Congreso Interamericano de Salud Ambiental, septiembre 2005 (CD ROM) (ISBN 959712453-X).
15. Molina E, Barceló C, Bonito L, Del Puerto C. Factores ambientales de riesgo de cáncer pulmonar en Ciudad de La Habana. *Rev Cubana Hig Epidemiol* 1996;34(2):81-90.
16. Hopke PK, Xie Y, Rautemaa T, Biegalski S. Characterization of the Gent stacker filter unit PM<sub>10</sub> sampler. *Aerosol Science and Technology* 1997; 27(6): 726-35.
17. Oficina Nacional de Normalización. NC 39:1999. Norma Cubana. Calidad del aire: Requisitos higiénicos sanitarios. La Habana; 1999.

18. Martínez M, Molina E, Fernández A. Comportamiento de contaminantes atmosféricos en una zona de Ciudad de La Habana en el periodo 2005-2009. *Higiene y Sanidad Ambiental* 2010; 10: 645-649. Disponible en URL: [http://www.ugr.es/~dpto\\_prev/revista.html](http://www.ugr.es/~dpto_prev/revista.html)
19. Krzyzanowski M, Kuna-Dibbert B, Schneider J. Health effects of transport-related air pollution. Copenhagen: Europe WHO Regional Office; 2005.
20. Institute Health Effects International Scientific Oversight Committee. Special Report 154. Public Health and air pollution in Asia: Coordinated studies of short-term exposure to air pollution and daily mortality in four cities. HEI; November 2010. Disponible en URL: <http://www.healtheffects.org/>
21. Health Effects Institute. HEI Air Toxics Review Panel 2007. Special Report 16. Mobile-Source Air Toxics: A Critical Review of the Literature on Exposure and Health Effects. Boston: HEI; January 2008. Disponible en URL: <http://pubs.healtheffects.org/types.php?type=2>
22. Health Effects Institute. HEI Air Toxics Review Panel 2007. Special Report 16. Mobile-Source Air Toxics: A Critical Review of the Literature on Exposure and Health Effects. Appendices B, C, D, and E. Boston: HEI; January 2008. Disponible en URL: <http://pubs.healtheffects.org/types.php?type=2>
23. Bogo H, Otero M, Castro P, Azafrán MJ, Kreiner A, et al. Study of atmospheric particulate matter in Buenos Aires city. *Atmospheric Environment* 2003; 37: 1135-47.
24. Cohen D, Garton D, Stelcer E, Wang T, Poon S, Kim J, et al. Characterisation of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> fine particle pollution in several Asian regions. Proceedings of the 16<sup>th</sup> International Clean Air Conference; 2002 Aug 18-22; Christchurch, New Zealand.
25. Pérez G, Piñera I, Aldape F, Flores J, Martínez M, Molina E et al. First study of airborne particulate pollution using PIXE analysis. *Internacional Journal of PIXE* 2009; (3-4): 157-166.