

*Higiene y Sanidad Ambiental*, **8**: 343-347 (2008)

## Comportamiento de dióxido de nitrógeno y partículas en suspensión totales en el periodo 2004-2006 en la estación del INHEM

Miriam MARTÍNEZ VARONA, René GARCÍA ROCHE, Enrique MOLINA ESQUIVEL y Ariadna FERNÁNDEZ AROCHA

Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. Infanta 1158 e/ Llinás y Clavel. Código Postal 10300. Ciudad de La Habana. Cuba. Telf. (537) 8781736, 8781731 al 34. Correo-e: mmartinez@sinha.sld.cu

### RESUMEN

Con el objetivo de describir la contaminación atmosférica en Centro Habana, se realizó un estudio descriptivo del comportamiento de las concentraciones diarias de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), y partículas en suspensión totales (PST) en el periodo de Enero de 2004 a Diciembre de 2006. La base de datos fue confeccionada en EXCEL y procesadas mediante SAS y SPSS v10. El análisis estadístico incluyó valores de tendencia central, porcentajes de transgresión de las concentraciones máximas admisibles (CMA), valores máximos y percentiles 25, 75 y 95. Se evaluó la correlación entre contaminantes mediante el coeficiente rho de Spearman. Se construyeron modelos de regresión lineal múltiple para cada contaminante y las variables meteorológicas seleccionadas, donde sólo se observó relación entre la velocidad del viento y la temperatura seca. Las concentraciones medias diarias de NO<sub>2</sub> y PST resultaron inferiores a las CMA. Se observaron correlaciones directas moderadas entre los contaminantes.

**Palabras clave:** Contaminación atmosférica, dióxido de nitrógeno, NO<sub>2</sub>, partículas en suspensión, PST.

### INTRODUCCIÓN

La progresiva industrialización ha supuesto un incremento en las emisiones de sustancias tóxicas a la atmósfera, lo que conlleva un empeoramiento paulatino de la calidad del aire. Es necesario un sistema de control de la misma para salvaguardar el medio ambiente y, en definitiva, nuestra salud. El número de estudios en los cuales se analiza la calidad del aire ha aumentado considerablemente en las últimas décadas.<sup>1</sup>

Anteriores estudios realizados en Ciudad de La Habana, han reportado concentraciones elevadas de contaminantes en las zonas de mayor exposición a fuentes industriales y al transporte,<sup>2,3</sup> asociadas a mayor morbilidad por enfermedades y síntomas respiratorios en grupos de riesgo residentes en las zonas más expuestas y de mayor densidad demográfica de esta capital, entre éstas el municipio Centro Habana.<sup>4,5,6</sup>

El presente estudio centra su interés específicamente en dos contaminantes: dióxido de nitrógeno y partículas en suspensión totales, teniendo como objetivo describir la situación de la contaminación atmosférica en Centro Habana de acuerdo con las concentraciones de estos contaminantes en la estación de monitoreo local, en el período de enero de 2004 a diciembre de 2006.

### MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio longitudinal descriptivo, cuyo universo de estudio estuvo constituido por las concentraciones diarias de contaminantes del aire obtenidas en la estación de monitoreo Centro Habana, ubicada en el Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología.

El periodo de estudio fue desde enero del 2004 hasta diciembre del 2006, que incluyó los siguientes

contaminantes: dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y partículas en suspensión totales (PST).

Se analizaron los datos disponibles reportados en la propia estación de monitoreo en el periodo 2001-2003, los que fueron comparados, cuando fue posible por la existencia de la información, con los datos del periodo en estudio.

El muestreo se realizó según las normas establecidas para el monitoreo manual activo de 24 horas, el cual se realiza utilizando una bomba de muestreo y un flujómetro para controlar el flujo indicado en cada método (para NO<sub>2</sub> se utiliza un flujo de 0,2 l/min y para PST el flujo recomendado es de 20 l/min),<sup>7</sup> posteriormente se realizó el análisis en el laboratorio.

Las técnicas analíticas empleadas fueron:

- *Dióxido de nitrógeno*: Método de referencia de la Compañía de Tecnología en Saneamiento Ambiental de Brasil (CETESB).<sup>8</sup>
- *Partículas totales en suspensión*: Se utilizó el método gravimétrico de bajo volumen, según la norma UNE 81599.<sup>9</sup>

Se tomó como CMA para el NO<sub>2</sub> 40 µg/m<sup>3</sup> y para

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se observa que tanto para el NO<sub>2</sub> y las partículas en suspensión, las medias aritméticas no transgreden las normas, sin embargo, en el caso del NO<sub>2</sub> en el percentil 75 muestran valores superiores a las CMA correspondientes, establecidos por la norma cubana.<sup>10</sup> Se destacan valores máximos que superaron en más de 4 veces los de referencia para NO<sub>2</sub>, y en casi 2 veces para PST, no obstante este último contaminante mostró el mayor porcentaje en su frecuencia de trasgresión de la norma entre los gases evaluados, de modo tal que la magnitud de la contaminación, atendiendo a los contaminantes evaluados, pudiera catalogarse de ligera.

En otro estudio realizado en el periodo de octubre de 1996 a septiembre de 1997,<sup>11,12</sup> los valores de las medias aritméticas resultaron muy inferiores a las obtenidas en el presente trabajo para NO<sub>2</sub> (11,5 µg/m<sup>3</sup>). Este hallazgo pudiera explicarse por un moderado incremento de las emisiones de las fuentes estacionarias y de la circulación vehicular, aten-

**TABLA 1. Valores resúmenes y porcentajes de transgresión de las concentraciones máximas admisibles (CMA) para las medias diarias del NO<sub>2</sub> y PST. Periodo 2004-2006.**

Contaminante	Media (µg/m <sup>3</sup> )	Percentiles (p)				Máximo	Porcentaje que supera la CMA (%)
		25	50	75	95		
NO <sub>2</sub>	32.186	14.80	26.95	45.25	78.00	187.20	34.22
PST	50.730	31.05	47.50	65.05	99.90	250.80	0.79

PST 100 µg/m<sup>3</sup>, de acuerdo a la NC 39: 1999. Calidad del aire. Requisitos Higiénico-sanitarios.<sup>10</sup>

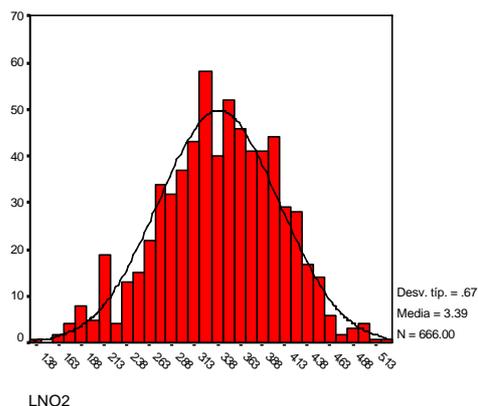
Se emplearon las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y el Shapiro-Wilk para evaluar la bondad de ajuste de la distribución de las concentraciones de los contaminantes estudiados. Con vistas a evaluar la relación entre las concentraciones de los contaminantes estudiados se empleó el coeficiente de correlación rho de Spearman, dada la distribución asimétrica de la mayoría de los mismos.

Posteriormente se construyeron modelos de regresión lineal múltiple entre cada contaminante y las variables meteorológicas seleccionadas, obtenidas en la estación meteorológica de Casablanca. Estas fueron:

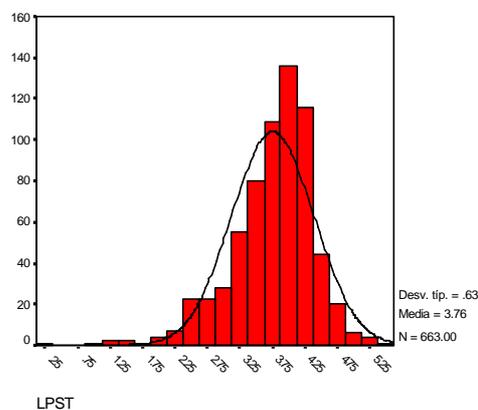
- Temperatura media diaria (°C).
- Humedad relativa media diaria (%).
- Velocidad del viento media diaria, en kilómetros por hora (km/h).
- Presión barométrica media diaria en hectoPascuales (hPa).

diendo a las cargas contaminantes de ambos tipos de fuentes.<sup>13</sup> En el estudio realizado en el periodo 2001-2003 se obtuvieron valores medios de 25.4 µg/m<sup>3</sup> para NO<sub>2</sub> y de 124.6 µg/m<sup>3</sup> para PST. Al comparar ambos estudios se observa que en el caso del NO<sub>2</sub> en el periodo de estudio hubo un incremento en el valor de la media, no comportándose de igual manera las PST, esto se considera ya que ha aumentado el tráfico vehicular así como el funcionamiento de la fábrica Otto Parellado es mas estable, sin embargo si analizamos los valores máximo en las PST de ambos estudios son muy similares en los dos periodos (2001-2003=281.6 µg/m<sup>3</sup>).

Tal como muestra la Tabla 2, se observó una correlación no muy sustancial entre el NO<sub>2</sub> y PST, es decir, resultó baja. Lo anterior se interpreta como una relación relativamente baja pero consistente, entre la tendencia a la variación de todos los contaminantes evaluados, de modo que, en alguna medida, los mismos se encuentran interrelacionados, bien en su emisión, su dispersión o por ambos factores. Todas estas correlaciones resultaron ligeramente significativas.



**FIGURA 1. Histograma del comportamiento de la normalidad del NO<sub>2</sub>**



**FIGURA 2. Histograma del comportamiento de la normalidad de las PST**

Aunque los contaminantes estudiados no mostraron una distribución normal, se procedió a la construcción de modelos de regresión lineal múltiple entre las concentraciones de éstos y las variables meteorológicas previamente descritas, con el propósito de tener una aproximación a este fenómeno. Se debe señalar que a pesar de la escasa distancia existente entre la estación meteorológica y la de monitoreo de contaminantes, ésta última se encuentra bajo la acción de la denominada "isla de calor urbana", por lo que esta situación puede provocar distorsiones con respecto a las condiciones meteorológicas imperantes a escala local.<sup>14</sup>

Al aplicar el test de Kolmogorov-Smirnov se procedió a determinar el logaritmo neperiano de las mismas, posteriormente se aplicó el test Shapiro-Wilk y se comprobó la normalidad (Figuras 1 y 2), se realizó un modelo de regresión múltiple para determinar el comportamiento con relación a las variables meteorológicas con respecto al NO<sub>2</sub>, las variables seleccionadas como explicativas fueron: la temperatura seca diaria ( $\beta = 0.05737$ ,  $p < 0.0001$ ) y la

**TABLA 2. Coeficiente de correlación (rho) de Spearman entre contaminantes. Estación de monitoreo. Centro Habana. Periodo 2004-2006.**

Contaminante	NO <sub>2</sub>	PST
NO <sub>2</sub>	1.00000	0.04126
PST	0.04126	1.00000

Leyenda: \*\*  $p < 0.01$

Fuente: Registros mensuales. Estación de vigilancia Centro Habana.

velocidad media diaria del viento ( $\beta = -0.00976$ ,  $p < 0.0176$ ), de modo que las menores concentraciones se asociaron a las temperaturas más bajas y mayor velocidades del viento.

Las PST igualmente tienen una relación inversa y significativa con la temperatura seca ( $\beta = -0.01888$ ,  $p = 0.0454$ ), y la velocidad media diaria del viento ( $\beta = -0.00840$ ,  $p < 0.0291$ ), las mayores concentraciones se encontraron cuando disminuía la temperatura y velocidad del viento.

En las Figuras 3 y 4 se describe el comportamiento de las concentraciones de los contaminantes en estudio según días de la semana. A juzgar, principalmente por la media y el percentil 50, se hace evidente que los sábados y domingos el nivel de contaminación atmosférica por los dos compuestos o índices evaluados es menor que el resto de los días de la semana, fenómeno probablemente vinculado a la disminución del tránsito automotor y las actividades industriales en el territorio cercano y a barlovento del punto de muestreo. El resto de los días de la semana las concentraciones de los contaminantes no mostraron diferencias ostensibles, superando el percentil 95 entre dos y tres veces las CMA correspondientes.

La Figura 5 muestra un ligero incremento de los valores de la media, la mediana y el percentil 95 de las concentraciones de NO<sub>2</sub> para los meses de marzo y diciembre en 2004 y 2006, en tanto en el 2005 se observa un incremento en los meses de Enero, Junio, Julio y septiembre. Estos meses coinciden con la temporada invernal, la cual es propensa a que ocurran inversiones térmicas por radiación, haciendo menos favorable la dispersión de los contaminantes en el aire más cercano a la superficie terrestre durante la noche y primeras horas de la mañana.<sup>14</sup> En el año 2005 se observa un incremento marcado en los meses de junio y julio que es el período de verano en nuestro país, este mismo incremento se observó en las PST para lo cual se comportaron sin un patrón estacional definido. En este período en estudio se apreció a diferencia del anterior una ligera tendencia al incremento de las concentraciones del NO<sub>2</sub> de acuerdo con la mediana a lo largo del período.

Al analizar la Figura 6, el comportamiento mensual de las PTS se observó que en todos los meses

con excepción del mes de marzo 2004 la media no superaron la CMA, en el caso de el percentil 95 en casi todos los meses si superan las CMA, con variaciones relativamente moderadas entre los meses y estaciones del año, aunque los valores superiores se observaron en los meses de marzo y diciembre de 2004 y julio 2005 y enero, mayo, agosto, septiembre y diciembre del 2006, apreciándose los mínimos en los meses de octubre 2004 y 2005 y en julio del 2006, sin un patrón estacional definido. En el período se apreció una tendencia general al incremento de la concentración de las PST al igual que en el  $\text{NO}_2$ . Este comportamiento pudiera atribuirse a que la multitud de fuentes emisoras, tales como el transporte, los procesos estacionarios de combustión, así como la erosión eólica y la resuspensión de partículas a partir de las superficies de las edificaciones, demoliciones y solares yermos.<sup>14,15</sup>

Román y cols.<sup>16</sup>, realizan un estudio en el que plantean lo siguiente: Desde hace aproximadamente 15 años se ha acumulado un número creciente de evidencias epidemiológicas, experimentales y clínicas respecto a la relación entre la concentración de material particulado atmosférico (PM) y diversos daños en los sistemas respiratorio y cardiovascular.<sup>16,17</sup> En un comienzo, el interés de las investigaciones se centró en el daño respiratorio, atendiendo a los crecientes niveles de contaminación atmosférica, producidos por la vida moderna en las grandes ciudades y a su relación con la incidencia de enfermedades respiratorias.<sup>18,19</sup>

En otro estudio realizado por Aranda y cols.<sup>20</sup> reconocían una correlación entre la climatología de la ciudad de Santiago y su efecto sobre la contaminación atmosférica y la salud de la población. Los mismos autores, en 1991, comunicaron una relación entre la contaminación atmosférica por partículas grandes ( $\text{PM}_{10}$ ) y la mortalidad por neumonía en niños de Santiago.<sup>19</sup> Posteriormente Ostro y cols.<sup>21</sup> y Sanhueza y cols.<sup>22</sup>, también en Santiago, encontraron una importante correlación entre la concentración de partículas grandes ( $\text{PM}_{10}$ ) y la mortalidad debida tanto a enfermedades respiratorias como cardiovasculares. Sin embargo, en el mismo año, Avendaño y cols.<sup>23</sup> no observaron correlación entre la concentración de  $\text{PM}_{10}$  con un aumento de la demanda de hospitalizaciones en lactantes y niños, por lo que postularon un rol adicional de virus respiratorio y de partículas más pequeñas ( $\text{PM}_{2.5}$ ).

El material contaminante lo constituyen las partículas en suspensión y los gases tóxicos. El material particulado (PM) se clasifica en partículas finas, de menos de 2,5 micrones ( $\text{PM}_{2.5}$ ) y mayores, de 10 ( $\text{PM}_{10}$ ), siendo las pequeñas las que se asocian más fuertemente al exceso de mortalidad. Los gases tóxicos son el ozono  $\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  y otros compuestos orgánicos volátiles.<sup>16</sup>

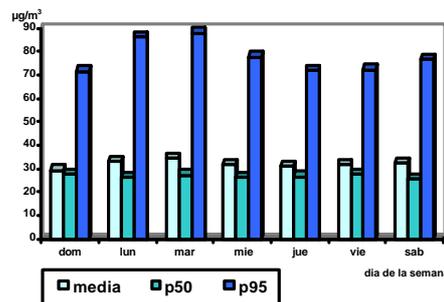


FIGURA 3. Comportamiento del dióxido de nitrógeno por días de la semana. Estación de monitoreo Centro Habana. Periodo 2004-2006.

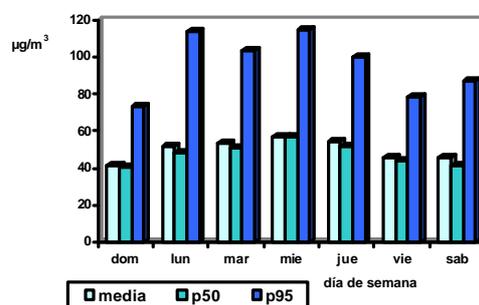


FIGURA 4. Comportamiento de las partículas en suspensión totales por días de la semana. Estación de monitoreo Centro Habana. Periodo 2004-2006.

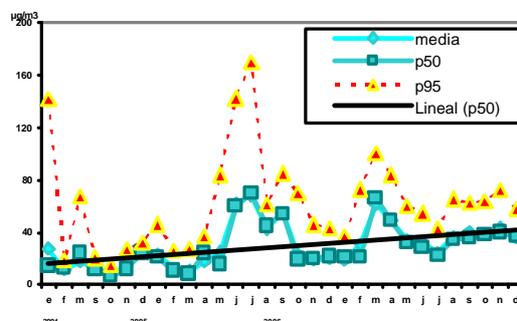


FIGURA 5. Comportamiento del dióxido de nitrógeno por meses. Estación de monitoreo Centro Habana. Periodo 2004-2006.

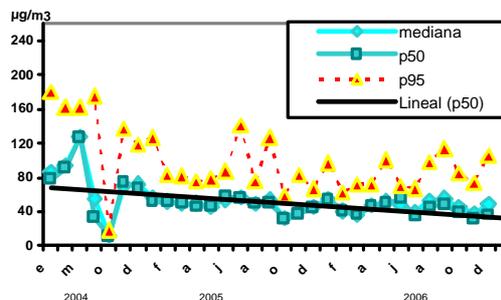


FIGURA 6. Comportamiento de las partículas en suspensión totales por meses. Estación de monitoreo Centro Habana. Periodo 2004-2006.

## CONCLUSIONES

- Las medias aritméticas de las concentraciones promedio diarias del dióxido de nitrógeno, y de las partículas en suspensión totales en el periodo en estudio, resultaron inferiores a las concentraciones máximas admisibles, mientras que el percentil 95 en los dos casos mostraron un valor superior a la norma sanitaria nacional y de otros países.
- Los dos indicadores de contaminación mostraron una moderada correlación y con relación a las variables meteorológicas las PST y el NO<sub>2</sub> mostraron una relación inversa y significativa con la temperatura seca y la velocidad media diaria del viento.
- Se apreció una disminución en la concentración de los contaminantes los fines de semana.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ROMAN A, Oscar, PRIETO, María José y MANCILLA, Pedro. Contaminación atmosférica y daño cardiovascular. *Rev. méd. Chile*. [online]. jun. 2004, 132: 761-767. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-98872004000600014&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-98872004000600014&lng=es&nrm=iso). ISSN 0034-9887.
2. Bekir O y Gautam SP. Contaminación atmosférica por vehículos automotores. Experiencias recogidas en siete centros urbanos de América Latina Washington D.C: Banco Mundial; 1997.
3. Organización Sanitaria Panamericana. Programa Internacional sobre Seguridad Química. Red de Epidemiología Ambiental. Epidemiología Ambiental. Un proyecto para América Latina y El Caribe. Contaminantes atmosféricos. México (DF): OPS; 1994:57-85.
4. Lacasaña-Mavarró M, L F, Aguilar-garduño C, Romieu I. Evolución de la contaminación del aire e impacto de los programas de control en tres mega ciudades de América latina. México. Salud publica. 1999;41:203-215
5. Romieu I. Estudios epidemiológicos sobre los efectos en la salud por la contaminación del aire de origen vehicular. En: Mage DT, Zali O, editores. Contaminación atmosférica causada por vehículos automotores. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 1995.
6. Segala C. Health effects of urban outdoor air pollution in children. *Current epidemiological data. Pediatr Pulmonol* 1999;18:6-8.
7. World Health Organization. United Nations Environment programme. GEMS/Air Methodology Reviews : Quality Assurance in urban air quality monitoring. WHO/UNEP. 1994 v.1
8. CETESB. Método de referencia para determinar dióxido de nitrógeno en atmósfera. Brasil, 2001.
9. Norma UNE81599 1996. Calidad del aire. Método gravimétrico. Determinación de material particulado (fracción inhalable y respirable) en aire.
10. Norma cubana 39:1999. Calidad del aire. Requisitos higiénico-sanitarios. Oficina Nacional de normalización. 1999.
11. Cuba. D. y Molina E. Concentraciones diarias de dióxido de azufre y hollín atmosféricos. centro habana, 1994 – 2000 [cd-room]. La Habana: INHEM;2002
12. Molina E, Brown LA, Prieto V, Bonet M, Cuellar L. Crisis de asma y enfermedades respiratorias agudas. Contaminantes atmosféricos y variables meteorológicas en Centro Habana. *Rev. Cubana Med. Gen. Integral* 2001;17(1):10-20.
13. Economopoulos A. Assessment of sources of air, water & land pollution. Chapter 3: Air emission inventories and controls. Geneva: WHO; 1993.
14. Organización panamericana de la salud. Curso básico sobre contaminación del aire y riesgos para la salud. México DF. OPS;1991:pp 45-48
15. Centro Panamericano de Ciencias del Ambiente / Organización Sanitaria Panamericana. Curso de Orientación para el control de la contaminación del aire. Manual de auto-instrucción. Lima: CEPIS; 1999 (PUB/99.33, 1999).
16. Epa's Science Advisory Board. The EPA's particulate Matter (PM). Health effects research centers program. *Report issued*. Jan 2002.
17. Zanobetti A, Schartz J, Dockery DW. Airborne particles are a risk factor for hospital admissions for heart and lung diseases. *Envir Health Perspect* 2000; 108: 1071-7.
18. Schwartz J. Harvesting and long term exposure effects in the relation between air pollution and mortality. *Am J Epidemiol* 2000; 151: 440-8.
19. Pope CA, Thun MJ, Namboodiri MM, Dockery DW, Evans JS, Speizer FE et al. Particulate air pollution as a predictor of mortality in prospective study of US adults. *Am J Respir Crit Care Med* 1995; 151: 669-74.
20. Aranda C, Romero H. Topo-climatología de la cuenca de Santiago y sus efectos en la contaminación atmosférica y en la salud. *Enf Resp Cir Tor* 1989; 5: 24-30.
21. Ostro BD, Eskeland GS, Sánchez JM, Feyzioglu T. Air pollution and health effects: a study of medical visits among children in Santiago, Chile. *Environ Health Perspect* 1999; 107: 69-73
22. Sanhueza P, Vargas C, Jiménez J. Mortalidad diaria en Santiago y su relación con la contaminación del aire. *Rev Méd Chile* 1999; 127: 235-42.
23. Avendaño L, Céspedes A, Stecher X, Palomina MA. Influencia de virus respiratorios, frío y contaminación aérea en la infección respiratoria aguda baja del lactante. *Rev Méd Chile* 1999; 127: 1073-8.