

Vigilancia de Dióxido de Azufre y Dióxido de Nitrógeno en la Estación de Centro Habana. 2001-2003

Miriam Martínez Varona, Enrique Molina Esquivel, Vicente I. Prieto Diaz

Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología
Infanta 1158 e/ Llinás y Clavel. Código postal 10300. Ciudad de La Habana. Cuba.
Teléfonos: (537) 781479, 705531 al 34 FAX: (537)662404

e-mail: mmartinez@sinha.sld.cu

Resumen

Estudios previos han reportado altas concentraciones de contaminantes atmosféricos en Centro Habana, asociadas a un mayor riesgo de enfermedades respiratorias y alérgicas. Con el objetivo de describir la contaminación atmosférica en Centro Habana y sus posibles riesgos para la salud, se realizó un estudio descriptivo del comportamiento de las concentraciones diarias de dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) e índice de acidez en el periodo de octubre del 2001 a octubre del 2003. Las bases de datos fueron confeccionadas en dBase y EXCEL y procesadas mediante Epi Info v. 2.6 y SPSS v. X. El análisis estadístico incluyó valores de tendencia central, porcentajes de trasgresión 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. Las concentraciones medias diarias de acidez, SO₂ y NO₂ resultaron inferiores a las CMA. Se observaron correlaciones directas moderadas entre todos los contaminantes, más fuerte entre el SO₂ y la acidez.

Palabras clave: Contaminación atmosférica, NO₂, SO₂.

Summary

Previous studies have reported high concentrations of atmospheric pollutants in the Municipality of Centro Habana, Havana city, associated with a high risk of respiratory and allergic diseases. A descriptive study was carried out to describe the atmospheric contamination in Centro Habana from October 2001 to October 2003. The study includes the daily concentrations of dioxide of sulfur (SO₂), nitrogen dioxide (NO₂) and acidity index. The statistical analysis includes the central trend, percentages of transgression of the acceptable maximum concentrations (CMA), maxima value and percentiles 25, 75 and 95. The correlation was evaluated among pollutants by means of

the coefficient rho of Spearman. Models of multiple lineal regression were built for each pollutant and the selected meteorological variables. The middle concentrations daily of acidity, SO₂ and NO₂ were inferior to the CMA. Moderate direct correlations were observed among all the pollutants, stronger between the SO₂ and the acidity

Key words: Atmospheric contamination, NO₂, SO₂.

1 Introducción

El origen de los problemas modernos de contaminación del aire puede remontarse a la Inglaterra del siglo XVIII, la invención de la máquina de vapor y el nacimiento de la revolución industrial. La industrialización comenzó a reemplazar las actividades agrícolas y las poblaciones se desplazaron del campo a la ciudad en busca de fuentes de trabajo. Las fábricas para producir requerían energía mediante la quema principalmente de combustibles fósiles, tales como el carbón y el petróleo [3].

Se ha establecido una estrecha relación de la contaminación atmosférica con las enfermedades respiratorias, cardiovasculares y dermatológicas, y con la presencia de diversos tipos de cáncer[7]. Los principales factores que influyen en los efectos de la contaminación sobre la salud humana son: el tiempo de exposición a la contaminación, la edad y factores fisiopatológicos de las personas expuestas[18,12].

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, [2,1] 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[8,10,11].

El presente estudio centra su interés específicamente en tres contaminantes: dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno así como el índice de acidez, teniendo como objetivo describir la situación de la contaminación atmosférica en Centro Habana de acuerdo con las concentraciones de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, e índice de acidez en la estación de monitoreo local, en el período de octubre del 2001 a octubre del 2003.

2 Materiales 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 octubre del 2001 hasta octubre del 2003, que incluyó los siguientes contaminantes: dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) e índice de acidez.

Se analizaron los datos históricos disponibles de índice de acidez reportados en la propia estación de monitoreo a partir de 1994, 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 flujómetros para controlar el flujo indicado en cada método (para SO₂ el flujo es de 1l/min, NO₂ se utiliza un flujo de 0,2 l/min y para el índice de acidez el flujo recomendado es de 1,6 l/min) [20]. Posteriormente se realizaron los análisis en el laboratorio. Las técnicas analíticas empleadas fueron: **Dióxido de azufre**, se utilizó el método colorimétrico con el empleo de la pararosanilina, según la norma UNE 77234[15]; **Índice de acidez**: se utilizó el método potenciométrico según las normas UNE 77-206-93 Calidad del aire: 1993 e ISO 4220:1983[14]; **Dióxido de nitrógeno**, método de referencia de la Compañía de Tecnología en Saneamiento Ambiental de Brasil (CETESB) [13].

Se tomó como CMA para el NO₂ 40 µg/m³ y para el SO₂ 50 µg/m³, de acuerdo a la NC 39: 1999. Calidad del aire. Requisitos Higiénico-sanitarios[13].

Se empleó la prueba de Kolmogorov-Smirnov 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 (método hacia atrás, criterio de remoción de $F \geq 0,1$) 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 hectoPascales (hPa)

3 Resultados y discusión

En la Tabla 1 se observa que tanto para el índice de acidez, como para el dióxido de azufre y el dióxido de nitrógeno, la media aritmética y el percentil 75 muestran valores inferiores a las CMA correspondientes, establecidos por la norma cubana¹⁵. Sin embargo, se destacan valores máximos que superaron en más de 5 veces los de referencia para la acidez y el SO₂, y en casi 3 veces para el NO₂, 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.

Tabla 1. Valores resúmenes y porcentajes de trasgresión de las concentraciones máximas admisibles (CMA) para las medias diarias del índice de acidez, SO₂, NO₂. Centro Habana, octubre 2001 – octubre 2003.

Contaminante	Media (µg/m ³)	Percentiles (p)				Máximo	Porcentaje que supera a CMA (%)
		25	50	75	95		
Índice acidez	26,0	4,1	16,4	35,0	86,4	277,9	14,5
SO₂	21,2	5,3	11,7	25,2	71,5	280,8	9,0
NO₂	25,4	13,3	23,1	34,6	58,8	110,9	16,3

Al comparar los resultados de este trabajo con los obtenidos en la propia estación de monitoreo en el período de 1994 a 2000¹⁶, el índice de acidez reportó valores similares, con una media aritmética de 28,1 µg/m³. En otro estudio realizado en el periodo de octubre de 1996 a septiembre de 1997¹⁷, los valores de las medias aritméticas resultaron muy inferiores a las obtenidas en el presente trabajo para NO₂ (11,5 µg/m³). Este hallazgo pudiera explicarse por un moderado incremento de las emisiones de las fuentes estacionarias y de la circulación vehicular, atendiendo a las cargas contaminantes de ambos tipos de fuentes¹⁸.

Se compararon las concentraciones medias de los contaminantes evaluados en Centro Habana durante el período octubre del 2001 a octubre del 2003 con las obtenidas en 1999 en diferentes estaciones de monitoreo de la ciudad de Sao Paulo de Brasil, se constató que las concentraciones de SO₂ y el índice de acidez resultaron algo inferiores que en Centro Habana, en tanto que las de NO₂, por el contrario, fueron mucho más elevadas en Sao Paulo. Estos hallazgos pudieran ser sorprendentes, teniendo en cuenta el intenso flujo vehicular y el desarrollo económico propio de esa gran ciudad sudamericana. Ello pone en evidencia un control mucho más eficiente de las emisiones de las fuentes estacionarias y sobre todo del transporte automotor, así como un potencial contaminante muy inferior de los vehículos.

Tal como muestra la Tabla 2, la mayor correlación se observó entre el SO₂ y el índice de acidez, lo que resulta lógico, debido a que el mayor constituyente de la acidez, de acuerdo con esta técnica analítica, está dado por la conversión de los óxidos de azufre en ácido sulfúrico; en tanto que la correlación de la acidez con el dióxido de nitrógeno resultó baja. La relación entre los dos contaminantes gaseosos, SO₂ y NO₂ 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, contrariamente a lo que puede ocurrir con los contaminantes primarios, como los descritos, y secundarios, como el ozono y otros oxidantes fotoquímicos, que no muestran igual comportamiento debido a los factores que determinan su formación.¹⁹ Todas estas correlaciones resultaron altamente significativas.

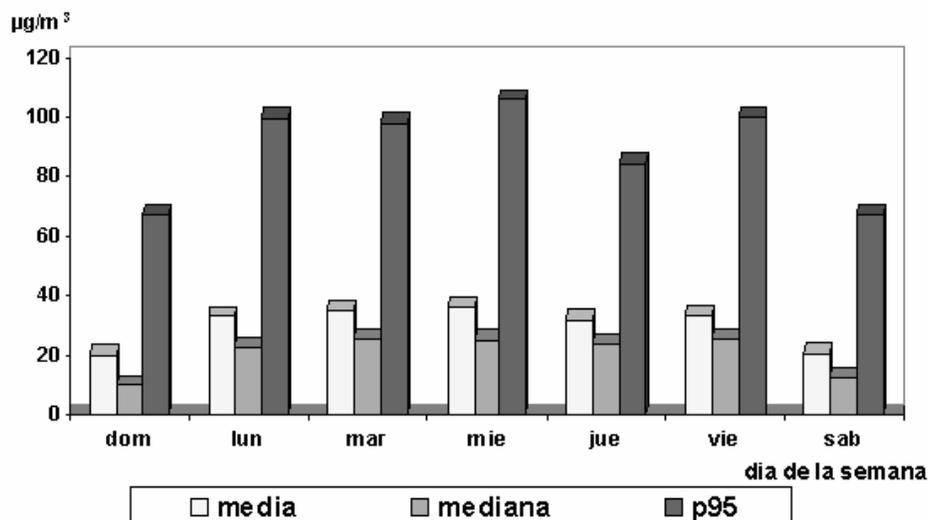
Tabla 2. Coeficiente de correlación (rho) de Spearman entre contaminantes. Estación de monitoreo. Centro Habana. Octubre 2001 – Octubre 2003.

Contaminante	Índice acidez	SO ₂	NO ₂	PST
Índice de acidez	-	0,62	0,17	0,32
SO ₂	0,62	-	0,17	0,46
NO ₂	0,17	0,17	-	0,25

Aunque los contaminantes estudiados no mostraron una distribución normal, con respecto al NO₂, las variables seleccionadas como explicativas fueron: la temperatura media diaria ($\beta = -2,257$, $p < 0,001$) y la velocidad media diaria del viento ($\beta = -0,341$, $p < 0,001$), de modo que las mayores concentraciones se asociaron a las temperaturas más bajas y menores velocidades del viento.

El SO₂ mostró una relación inversa y significativa con la humedad relativa ($\beta = -0,377$, $p = 0,021$), en tanto que para la acidez resultaron excluidas las cuatro variables meteorológicas evaluadas.

En las Figuras 1, 2 y 3 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, los sábados y domingos el nivel de contaminación atmosférica por los tres 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.

**Figura 1:** Comportamiento de índice de acidez por días de la semana. Estación de Monitoreo Centro Habana. Octubre 2001 – Octubre 2003.

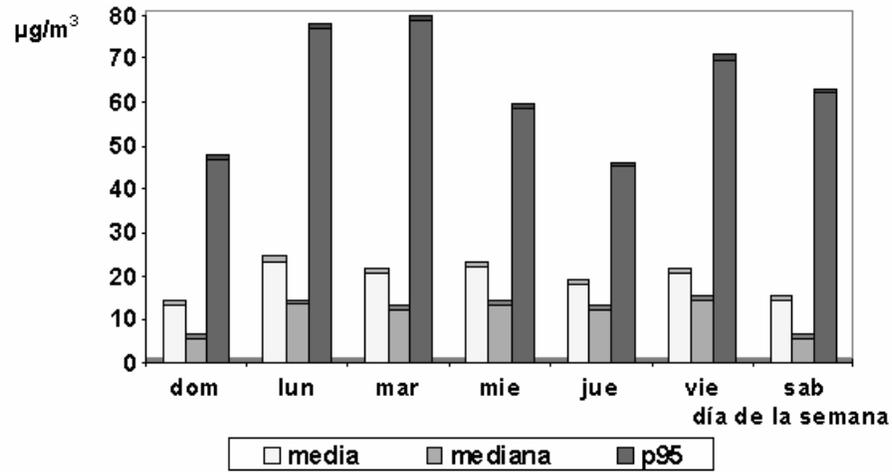


Figura 2: Concentraciones de dióxido de azufre por días de la semana. Centro Habana. Octubre 2001 - Octubre 2003.

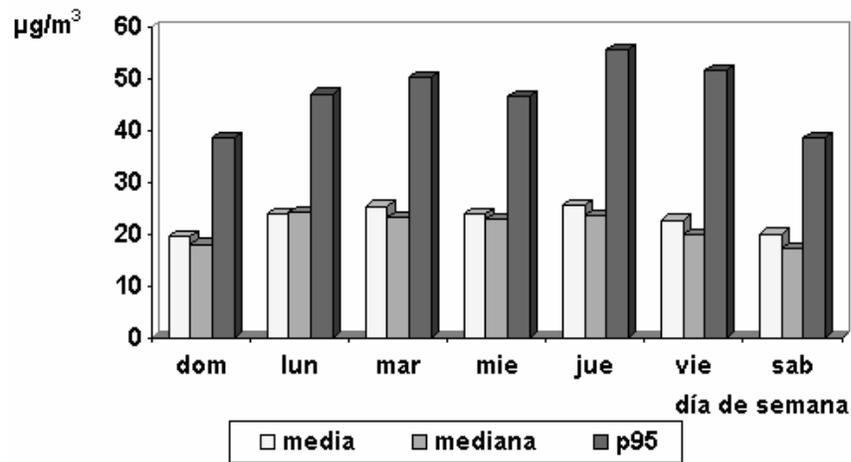


Figura 3: Concentraciones de dióxido de nitrógeno por días de la semana. Centro Habana. Octubre 2001 - Octubre 2003.

La Tabla 3 muestra el porcentaje de trasgresión de la CMA por días de la semana, es evidente que los días sábado y domingo las frecuencias son inferiores que en los restantes de la semana. El contaminante que más bajos porcentaje de trasgresión tuvo fue el NO_2 .

Tabla 3. Valores resumen y % de trasgresión de la norma sanitaria (CMA) de las medias por día de la semana de índice de acidez, SO_2 y NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Centro Habana, octubre 2001 – octubre 2003.

Contaminante	Porcentaje superior a la CMA						
	Dom	Lun	Mar	Mier	Jue	Vier	Sab
Índice acidez	10,9	24,4	24,6	27,3	22,3	21,5	10
SO_2	5,3	12,6	9,7	6,8	3,1	7,3	6,7
NO_2	3,3	9,7	17,6	10,3	12,6	11,1	5,6

Como se aprecia en la Figura 4, el SO_2 mostró en el periodo en estudio un ligero aumento de la media y del percentil 95 en los meses de diciembre del 2001 y en abril y mayo del 2002, respectivamente. En este último año, la media obtenida en el mes de abril fue superior a la CMA. Después del mes de mayo del 2002 se observó una disminución de este contaminante, manteniéndose estable por el resto del período hasta el final del estudio. De acuerdo con la mediana, se dio una muy ligera tendencia a la disminución de las concentraciones a lo largo del período, la que pudiera estar vinculada a una posible disminución de las emisiones a partir de junio del 2002 en las fuentes estacionarias ubicadas a barlovento de la estación de monitoreo.

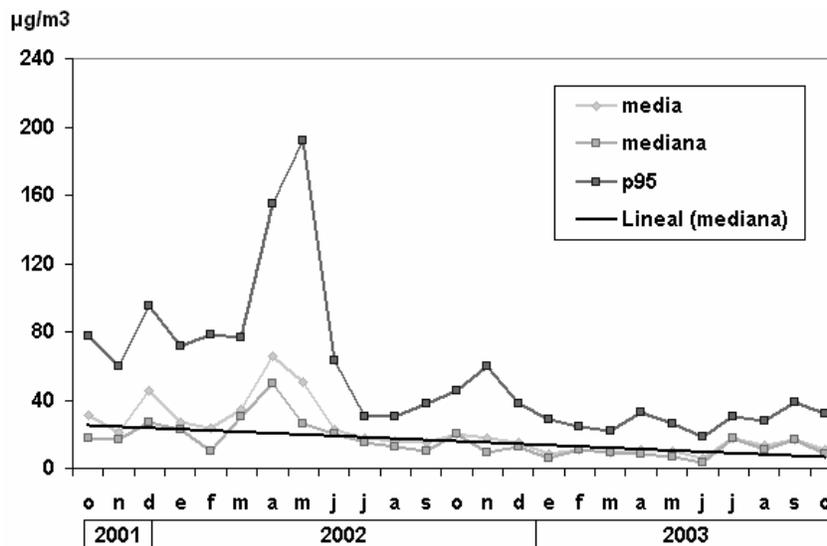


Figura 4: Comportamiento del dióxido de azufre. Estación de monitoreo. Centro Habana. Octubre 2001 – Octubre 2003.

La Figura 5 muestra un notable incremento de los valores de la media, la mediana y el percentil 95 de las concentraciones de NO₂ para los meses de enero y febrero, tanto en el 2002 como en el 2003. 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 [17]. Aparte de este incremento invernal, nuevamente se apreció, de acuerdo con la mediana, una ligera tendencia a la disminución de las concentraciones a lo largo del período, la que pudiera estar vinculada a una reducción de las emisiones a partir del transporte automotor, principalmente por vehículos de gasolina.

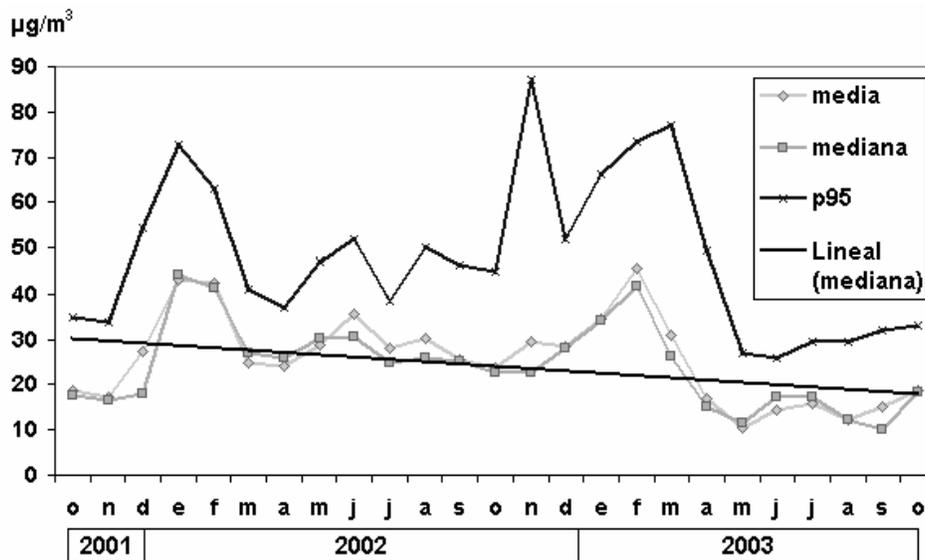


Figura 5: Comportamiento del dióxido de nitrógeno. Estación de monitoreo. Centro Habana. Octubre 2001 - Octubre 2003.

El comportamiento mensual del índice de acidez (Figura 6) mostró valores máximos de la media y la mediana durante los meses de octubre y diciembre del 2001 y durante los meses de enero, abril, mayo y junio del 2002. A partir de entonces se presentó una progresiva disminución hasta febrero del 2003, manteniéndose estable a partir de entonces hasta el final del período. Se observa una tendencia general a la disminución de las concentraciones de este contaminante a lo largo del período, con un comportamiento general similar al del SO₂, principal constituyente de la acidez, como ha sido explicado.

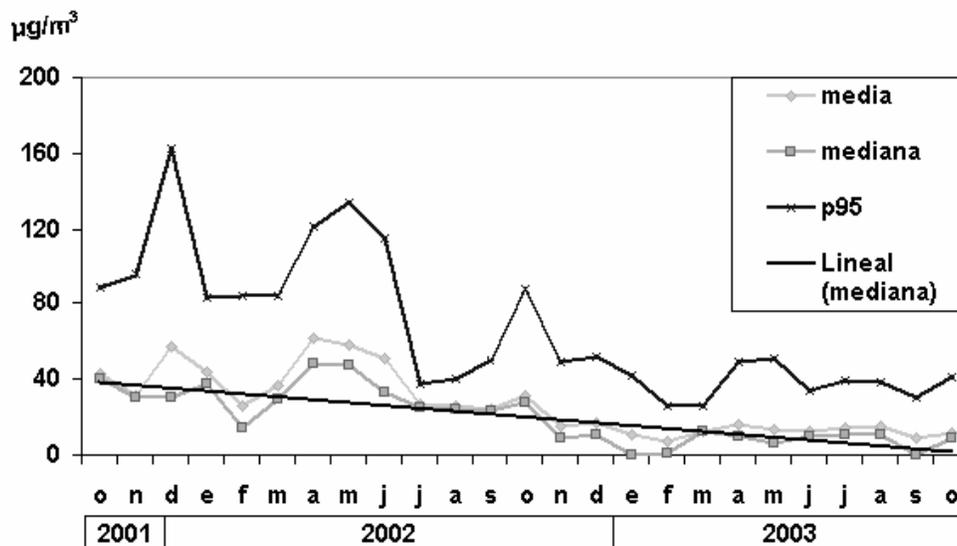


Figura 6: Comportamiento de índice de acidez. Estación de Monitoreo Centro Habana. Octubre 2001 - Octubre 2003.

4 Conclusiones

Las medias aritméticas de las concentraciones promedio diarias del índice de acidez, el dióxido de azufre y el dióxido de nitrógeno, en el periodo en estudio, resultaron inferiores a las concentraciones máximas admisibles.

Los tres indicadores de contaminación mostraron una moderada correlación y una escasa relación con las variables meteorológicas.

Como se pudo apreciar, los fines de semana los niveles de contaminación fueron menores que en el resto de la semana.

Referencias

- [1] Bonito L, Perez N. *Mapa de monóxido de carbono en avenidas*. En: Memorias XXIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. La Habana: AIDIS; 1992.t3:122-31.
- [2] Cabrera A, Barceló C, Molina E. *Fluctuaciones diarias de SO₂ y humo en Centro Habana*. Rev Cubana Hig Epidemiol 1989;(1):21-30.
- [3] 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).
- [4] CETESB. *Método de referencia para determinar dióxido de nitrógeno en atmósfera*. Brasil, 2001.
- [5] Companhia de Tecnologia de Saneamiento Ambiental. *Qualidade do Ar no Estado de Sao Paulo*. Sao Paulo : CETESB; 1999.
- [6] Economopoulos A. *Assessment of sources of air, water & land pollution*. Chapter 3: Air emission inventories and controls. Geneva: WHO; 1993.
- [7] Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico. *Programa Regional para Centro América y el Caribe*. Manual de gestión de la calidad del aire [CD-ROM]. COSUDE: San José, Costa Rica; 2000.
- [8] Molina E, Barceló C, Bonito L A, Puerto C del. *Factores de riesgo de cáncer pulmonar en Ciudad de La Habana*. Rev Cubana Hig Epidemiol 1996;34(2):81-90.
- [9] 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.
- [10] Molina E, Cabrera A, Bonito L. *Prevalencia de asma bronquial. Asociación con la contaminación atmosférica y otros factores ambientales*. En: Contaminación del aire y salud. México D.F.: Ciencias Médicas; 1992. p. 93-108. (Serie Salud Ambiental No. 2).
- [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. p.58-67.
- [12] Molina E. *Evaluación de los riesgos de la contaminación del aire. Experiencias en la atención primaria de salud*. Convención internacional "Salud publica 2002" 2002 Mayo 1 al 4, La Habana; Cuba. La Habana: MINSAP;2002
- [13] Norma cubana 39:1999. Calidad del aire. Requisitos higiénico-sanitarios. Oficina Nacional de normalización. 1999.
- [14] Norma UNE 77-206-93 Calidad del aire. 1993. Norma ISO 4220:1983. Determinación del dióxido de azufre por el método potenciométrico.

- [15] Norma UNE 77234 1998. *Calidad del aire. Determinación de la concentración máxima de dióxido de azufre*. Método del tetracloromercurito (TCM)/pararosanilina.
- [16] Organización panamericana de la salud. Curso básico sobre contaminación del aire y riesgos para la salud. México DF. OPS;1991:pp 45-48.
- [17] Organización Panamericana de la Salud. *La salud y el ambiente en el desarrollo sostenible*. Washington, DC. OPS.2000.
- [18] Redam. Portal de educación ambiental de América Latina [sitio de Internet] consultado 27/8/03 Disponible en URL <http://www.ecoeduca.cl/pageset/>
- [19] Secretaria del medio ambiente. Dirección general de prevención y control de la contaminación. Informe anual 1995. Red automática de monitoreo atmosférico de la ciudad de México. México DF: RAMA ;1995.
- [20] World Health Organization. United Nations Environment programme. GEMS/Air Methodology Reviews: Quality Assurance in urban air quality monitoring. WHO/UNEP. 1994 v.1