

Evaluación de riesgos para la salud por deficiente calidad del aire en el municipio Habana Vieja

Evaluation of health risk because of exposition to poor air quality in the municipality of Havana Vieja

Llisel Delgado Palomo

Centro Meteorológico Provincial Camagüey

e-mail: llisel@cmw.insmet.cu

Pedro Sánchez Navarro

Centro de Contaminación y Química Atmosférica, Instituto de Meteorología, CITMA.

Tel: 868 6499 e-mail: pedro.sanchez@insmet.cu

Recibido: enero 27, 2011; aceptado: abril 30, 2012.

Resumen

Con miras a evaluar la exposición a la contaminación de los residentes en el municipio, la población seleccionada fue dividida en cinco categorías. Los resultados obtenidos indican que el grupo de mayor riesgo contempla a los niños menores de cuatro años. Los resultados de la simulación revelan que el contaminante SO₂ presenta las mayores concentraciones, las cuales se localizaron en el sector comprendido desde el SSW hasta el WNW de la fuente de referencia. Los cocientes de riesgo calculados suponen que la población está expuesta a la concentración promedio existente por un período de 75 años, en el caso de los adultos, y de 12 años, para los niños.

PALABRAS CLAVE: Riesgo para la salud, dosis de referencia, SO₂, NO₂.

Abstract

To assess the exposure of residents in the municipality to air pollution, the target population was divided into five categories. The results showed that highest risk groups include children under four years. The results from simulation show that SO₂ presents the highest concentrations, which were located in the

area covered from the SSW to the WNW from the reference source. The calculated hazard ratios, assume that the population is exposed to the existing average concentration for a period of 75 years in the case of adults, and 12 years for children.

Introducción

En la actualidad, es ampliamente reconocido que el deterioro de la calidad de vida en regiones urbanas se relaciona con la pérdida de la calidad del aire en esos escenarios. Numerosas ciudades en diferentes latitudes son expuestas a niveles de contaminación causantes de importantes impactos ambientales; en este sentido, la actividad industrial y la circulación de vehículos automotores resultan sus principales fuentes contaminantes. Los efectos de salud asociados incluyen complicaciones respiratorias, problemas en el embarazo, retardo del desarrollo en los niños y algunos tipos de cáncer.

En general, la intensidad de la contaminación del aire en las ciudades depende de la geografía urbana; aumenta cuando las calles son estrechas respecto del tamaño de los edificios o cuando existen problemas de circulación vehicular. En Cuba, aunque

las calles en la mayoría de las ciudades son estrechas, los edificios son relativamente bajos, lo cual atenúa en buena medida el efecto de la acumulación de contaminantes. No obstante, a inicios de la presente década fueron identificados riesgos importantes para la salud en la región circundante a la Bahía de La Habana, sobre todo en los residentes dentro de esa parte de la ciudad, además de evidencias de problemas similares en otras áreas (Sánchez y Wallo, 2001), vinculados con los niveles de concentración de SO_2 , NO_2 y otras partículas entonces determinados.

A pesar de que en el contexto urbano de la ciudad de La Habana han sido eliminadas importantes fuentes de emisión en años recientes, aún aparecen otras dispersas en diferentes municipios, algunas de las cuales provocan la emisión de sustancias contaminantes al aire. Asimismo, existe una cantidad considerable de fuentes pequeñas disgregadas por todo el territorio de la ciudad, así como la creciente circulación vehicular, cuyas emisiones, si bien menores, se producen mucho más cercanas a la superficie.

La reiteración de condiciones de deficiente dispersión de las sustancias en el aire, se ha mostrado como un factor importante en la ocurrencia de episodios de estancamiento en áreas de la ciudad de La Habana (López, 1984; Sánchez y Cuesta, 1992; Sánchez, 2001). De esta manera, aunque no pueda aseverarse que el problema esté presente en todo el territorio, hay evidencias de la existencia de “puntos calientes” (*hot spots*) en ciertas zonas en la ciudad, persistiendo las incertidumbres acerca de las relaciones entre factores propiciadores.

Lo anterior ha constituido motivación con vistas a una determinación actualizada de los niveles de riesgo para la salud en áreas del municipio de la Habana Vieja, por exposición a los efectos de la contaminación atmosférica.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

La Habana Vieja limita, por el norte, con el canal de entrada a la Bahía de La Habana; por el sur, con los municipios de San Miguel del Padrón y Diez de Octubre; por el este, con el municipio de Regla y la Bahía de La Habana; y por el oeste, con los municipios de Centro Habana y Cerro. Este municipio es el más pequeño de La Ciudad de La Habana, a pesar de lo cual tiene una densidad de población superior a municipios como Plaza de la Revolución y Habana del Este, mucho mayores en extensión territorial. Su territorio está dividido administrativamente en siete consejos populares: Prado, Catedral, Plaza Vieja, Belén, San Isidro, Jesús María y Tallapiedra. Para fines de la Salud, se divide en cinco áreas: Tomás Romay, Robert M. Zulueta, Diego Tamayo, Antonio Guiteras y Ángel Aballí.

Evaluación de riesgo

Para determinar el riesgo de daños a la salud por exposición a contaminantes atmosféricos no cancerígenos, fue aplicada la metodología de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (USEPA, 1991), que consta de cuatro etapas básicas, las cuales se describen a continuación.

Identificación del peligro

Un factor importante en la evaluación de riesgo es el peligro asociado con la existencia de fuentes de emisión de contaminantes capaces de provocar problemas de salud específicos. En este caso, el peligro fue definido por la existencia dentro (o en la vecindad) del área de estudio de una o más fuentes contaminadoras que, dadas las características de sus emisiones, constituyen sitios peligrosos para la salud humana.

Un aspecto relevante en esta etapa es la identificación de la fuente (o fuentes) portadoras del contaminante dado; en el caso del territorio municipal fue identificada solo una fuente como clase I en la escala

de peligrosidad descrita por el Instituto de Higiene, Microbiología y Epidemiología. Por sus características, esa fuente constituye una importante causa potencial de contaminación atmosférica en el territorio. Las fuentes restantes, hasta un número de 30, han sido reconocidas en la clasificación como clase V. Este segundo grupo se integra por panaderías, centros de elaboración de alimentos, comedores obreros y otras, cuyas emisiones, aun cuando representan algún aporte a la emisión global en el territorio, no fueron consideradas en el estudio.

Evaluación dosis respuesta

En general, algunas observaciones empíricas han revelado que, ante un incremento en la dosis de contaminante inhalado, aparece también un aumento en la respuesta, representado en términos de severidad y(o) incidencia del efecto en los receptores. En esta metodología, la relación dosis–respuesta define las características del riesgo asociado con la dosis real que se recibe en cada punto de exposición.

Para evaluar la influencia de los diferentes niveles de exposición en la probabilidad de ocurrencia y la severidad de los efectos en la salud (riesgo), se aplicó el principio de la relación dosis–respuesta para efectos no cancerígenos. En este tipo de análisis se reconoce la existencia de un factor denominado *dosis de referencia* (DR_r), inherente a la existencia de una dosis inhalada anterior a la aparición de algún efecto de salud.

Evaluación de la exposición

La evaluación de la exposición es el paso dentro del proceso de evaluación de riesgo en el cual se esclarecen aspectos como el nivel, la duración y la magnitud de la exposición de los individuos a la acción de los contaminantes; además, donde se representan las rutas descritas por cada agente peligroso en el espacio fuente–receptor.

Caracterización del riesgo

Como parte final del proceso de evaluación se realizó la caracterización del riesgo, ajustado a las recomendaciones de la OPS al respecto (OPS 2003), en las cuales la caracterización se basa en los tres aspectos siguientes:

1. Severidad del efecto en salud.
2. Riesgo individual (CR) = Relación dosis estimada/ DR_r
3. Población expuesta.

Los efectos asociados con las concentraciones de los contaminantes se clasifican como catastróficos, severos o adversos. El efecto catastrófico es aquel que pone en riesgo la vida (por ejemplo, daño cardíaco severo, retardo mental, desorden hereditario, etc.); el efecto severo, aunque no pone en riesgo la vida, crea problemas de salud (daño neurológico, aborto, infertilidad y otros); el efecto adverso es el que, aun cuando no puede definirse como una enfermedad, es reconocido como una alteración (bajo peso al nacer, hiperplasia o hipertrofia de tejidos, irritación de los ojos o piel, alteración reversible del funcionamiento orgánico, etcétera).

Si $CR > 1$, implica que deben tomarse medidas correctoras y de mitigación; si el resultado es 1, indica una situación de alerta; y si fuera < 1 , entonces, no habría riesgo significativo.

En dependencia de la densidad poblacional en cada área, la connotación de los efectos asociados con la concentración de cada contaminante será mayor o menor.

Adicionalmente a esos tres aspectos, se adicionó la consideración del comportamiento del viento en la región circundante al área de estudio, por ser un factor meteorológico de importancia vital en el esclarecimiento de la relación fuente–receptor en el área de estudio.

De esta manera, el riesgo de salud puede ser definido como la probabilidad de que las propiedades tóxi-

cas de un agente químico produzcan algún efecto negativo en poblaciones o individuos, dependiendo, básicamente, de la conjunción del peligro y la vulnerabilidad de los individuos, así como de las características de la exposición.

Para evaluar la exposición de la población a la contaminación en las diferentes áreas del municipio se partió de la determinación previa de la dosis crónica de inhalación (*DCI*), según la ecuación siguiente:

$$DCI_{(mg/kg/día)} = \frac{[C][FAP][TI][TE][FE][DE]}{[PCP][TME]} \quad (1)$$

Donde: *DCI* es la cantidad del contaminante inhalado por una persona expuesta a su concentración; *C* es la concentración del contaminante en la atmósfera del lugar ($mg\ m^{-3}$); *FAP* es el factor de absorción pulmonar (adimensional); *TI* es la tasa de inhalación ($m^3/día$); *TE* es el tiempo de exposición ($h/día$); *FE* es la frecuencia de la exposición (días/año); *DE* es la duración de la exposición (años); *PCP* es el peso corporal promedio (kg) y *TME* es el tiempo promedio de exposición.

En la tabla 1 aparecen los valores de los factores utilizados para calcular la exposición.

TABLA 1
Factores de exposición

Parámetro	Unidad	*Adultos	**Niños
IP: Inhalación promedio ¹	m ³ /h	2,6	2,5
TI: Tasa de inhalación diaria ² = IP x TE	m ³ /día	20,8	20
TE: Tiempo de exposición ³	h/día	8	8
FE: Frecuencia de exposición ⁴	días/año	365	365
DE: Duración de la exposición	años	75	14
PCP: Peso corporal promedio ⁵	kg	70	36
TEP: Tiempo de exposición promedio FE x DE	días	27 375	4 380

Notas: 1. Adams, W.C, 1993; 2. Layton, D.W, 1993; 3. Días promedio de trabajo o de vida; 4. Tiempo promedio de trabajo o de vida; y 5. Peso corporal promedio (OMS, 2003).

Una vez desarrollada la ecuación (1) se obtuvieron ecuaciones específicas para cada grupo poblacional, las cuales dependen solamente de la concentración

del contaminante dado y permiten conocer el nivel de exposición individual en cada lugar.

Adultos (mayores de 14 años):

$$DCI = 0.285 \times (\text{Concentración})mg/kg/día \quad (2)$$

Niños (de 0 a 14 años):

$$DCI = 0.533 \times (\text{Concentración})mg/kg/día \quad (3)$$

En Cuba no existen normas de calidad del aire anuales para los contaminantes involucrados en el estudio, ante lo cual se siguió el procedimiento antes empleado por Sánchez *et al.* (2004), consistente en tomar estándares nacionales de calidad del aire para 24 horas, como concentraciones de referencia, de manera que los valores de DR_f aplicados se expresan en función de la concentración del tóxico en el aire en *miligramo por metro cúbico* (mg/m^3) para una exposición continua de 24 horas por día.

El uso de estos valores en la ecuación con el menor valor de *DCI* determinado para cada contaminante aportó una estimación de las DR_f correspondientes.

Contaminante	DR_f
SO ₂	0.0142
NO ₂	0.0114
PST	0.0142

Posteriormente, los valores de *DCI* y DR_f fueron utilizados para caracterizar la distribución espacial del riesgo, mediante la expresión siguiente:

$$CR = \frac{DCI}{DR_f} \quad (4)$$

Donde: *CR* es el cociente de riesgo; *DCI* es la dosis diaria promedio inhalada en el lugar de exposición; y DR_f es la dosis de referencia determinada para cada contaminante en estudio ($mg/kg/día$).

Datos epidemiológicos

En este apartado se realizó una evaluación de los casos crónicos de asma en cada área de salud, para lo cual se dividió la muestra de pobladores de cada área en cinco grupos: menores de 4 años; de cinco a 14; de 15 a 24; de 25 a 64 y mayores de 64 años, identificándose las áreas donde el padecimiento en grupos de edad específicos resultó notable con respecto a las restantes.

Para la simulación de la dispersión de los contaminantes en la atmósfera se aplicó el modelo Berliand-Alvarez, modificado (Álvarez y Álvarez, 1988), basado en el desarrollado en la antigua Unión Soviética a partir de la fórmula básica de Berliand (1975), conocido como modelo de transporte-gradiente o modelo K.

En principio, en la NC 93-02-202 se indica el procedimiento para calcular la concentración máxima de un contaminante (C_m) mediante la fórmula de cálculo dada por la relación siguiente:

$$C_m = \frac{AMFmn}{H^2(V\Delta T)^{1/2}} \quad (5)$$

Donde: A es el coeficiente calculado para condiciones normales de intercambio vertical y horizontal; M es la cantidad de materia expulsada (g/s^{-1}); F es el coeficiente adimensional, calculado para las condiciones de salida de la mezcla gas-aire en el punto de emisión. Para expulsiones gaseosas y aerosoles (partículas con velocidad de precipitación $< 3m/s$, $F = 1$), m , n son coeficientes adimensionales, que dependen de la velocidad de salida de la mezcla (m/s), el diámetro de la chimenea (m), de la diferencia de la temperatura entre la mezcla y el aire, la altura de la fuente y el volumen de emisión de la mezcla gas-aire (m^3/s); H es la altura efectiva de la fuente emisora (m); V es el volumen de emisión (m^3/s); y ΔT es la diferencia entre la temperatura de emisión y la ambiente.

Según esa norma, se alcanza C_m cuando la velo-

cidad del viento es igual a la velocidad crítica (U_m) y esta última se calcula como:

$$U_m = \{0.5\} \text{ si } Vm \leq 0.5$$

$$U_m = \{Vm\} \text{ si } 0.5 < Vm \leq 2$$

$$\{Vm(1+0.12\sqrt{f})\} \text{ si } Vm > 2$$

Para los fines de la evaluación de riesgos, la utilización de valores de C_m calculados por esta vía introduce un nivel de incertidumbre cuya magnitud puede ser tan grande como sea la diferencia entre esa concentración y el valor de referencia que se maneje. Al respecto, con el fin de mejorar la expresión de cálculo original, Álvarez y Álvarez (1988) introdujeron una matriz que utiliza las 16 direcciones fundamentales en que se codifica el viento en superficie, así como 34 rangos de rapidez del viento, que incluyen valores posibles superiores a 75 km/h.

Los datos del viento procesados estadísticamente se introducen en los cálculos del modelo de acuerdo con las consideraciones siguientes:

Se calculan los valores de C_m , X_m , r y p para cada uno de los 34 rangos de rapidez del viento considerados en la matriz. Para cada una de las direcciones del viento se calculan las concentraciones máximas y las distancias a que estas ocurren, según la expresión siguiente:

$$C_{m_j} = \frac{\sum_{i=1}^{34} Cmu_{i,j} Fre_{i,j}}{\sum_{i=1}^{34} Fre_{i,j}} \quad (6)$$

$$X_{m_j} = \frac{\sum_{i=1}^{34} Xmu_{i,j} Fre_{i,j}}{\sum_{i=1}^{34} Fre_{i,j}} \quad (7)$$

Después de introducir los valores calculados de C_m y X_m en las ecuaciones originales propuestas en la Norma para cada una de las 16 direcciones del viento, se calcula la concentración promedio en 24 horas mediante la fórmula siguiente:

$$Cd_{x,j} = SICm_j N \sum_{i=1}^{34} Fre_{i,j} \quad (8)$$

A partir de cuyos resultados quedan satisfechos, definitivamente, los requerimientos de estudios como el presente.

La matriz de viento empleada en este trabajo fue confeccionada con datos trihorarios de dirección y velocidad del viento de 2 años (2008 y 2009), obtenidos en el Centro del Clima del INSMET.

Cálculo de las emisiones de los contaminantes

Una dificultad encontrada para la realización del trabajo, fue la inexistencia en la fuente de emisión considerada, de datos de emisión de SO₂, NO₂, y partículas, requeridos para su inclusión en el modelo de dispersión. Esto condujo a la necesidad de calcular las emisiones de los mismos, a partir de valores del consumo de combustible obtenidos en la fuente de emisión y factores de emisión contenidos la serie de factores AP-42, publicados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA,1972), los cuales se muestran en la tabla 2.

TABLA 2
Factores de emisión para calderas consumidoras de Fuel Oil

Contaminantes	Fuel oil (kg/m ³)
Partículas	4.88
Dióxido de azufre	19(S)*
Óxidos de nitrógeno	15
Monóxido de carbono	0.6

Nota: *S es el contenido de azufre en porcentaje en el combustible. De acuerdo a este contenido de azufre serán las emisiones de dióxido de azufre durante la combustión.

La ecuación empleada para estimar las emisiones es la siguiente:

$$E = A \times EF \times (1 - ER/100) \quad (9)$$

Donde: *E* son las emisiones (g/s); *A* es la intensidad de la actividad o intensidad del proceso productivo (en nuestro caso se corresponde con los valores del consumo del combustible); *EF* es el factor de emisión (kg/m³); *ER* es la eficiencia global de reducción de la emisión (en este caso, este término es cero, puesto que en las calderas incluidas en el estudio no existen dispositivos que controlen las emisiones).

Finalmente, la ecuación queda de la forma:

$$E = A \times EF \quad (10)$$

Contaminantes	Emisión (g/s)
NO ₂	43.3
SO ₂	104.3
PTS	14.1

Factores meteorológicos

Para estudiar las posibles relaciones entre los riesgos para la salud y los factores meteorológicos fue seleccionado el viento a partir del conocimiento previo respecto a su incidencia en la calidad del aire en la zona de estudio (López, 1984; Martínez, 2001; Sánchez *et al.*, 2003). Se procesó un total de 5 840 observaciones de superficie, realizadas en la estación meteorológica de Casablanca, en Ciudad de La Habana, durante el período 2008-2009; además, se utilizaron los valores de dirección y velocidad del viento como datos de entrada en la modelación de la dispersión de contaminantes.

Resultados

Dispersión de los contaminantes

En las figuras 1, 2 y 3 se representan los patrones de dispersión de contaminantes obtenidos a partir de la simulación de emisiones desde la fuente seleccionada. En general, las isolíneas cubren un área considerable del territorio, aunque las concentraciones más altas aparecen, fundamentalmente, en un sector

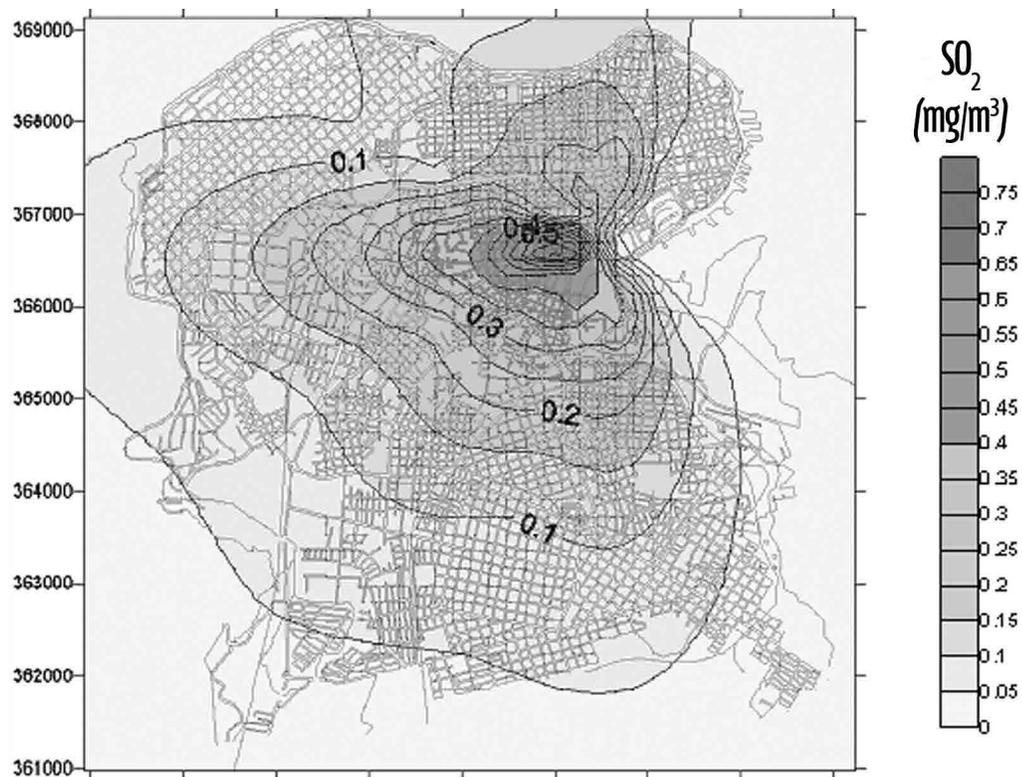


Fig. 1 Patrón de dispersión del SO₂ (2008-2009).

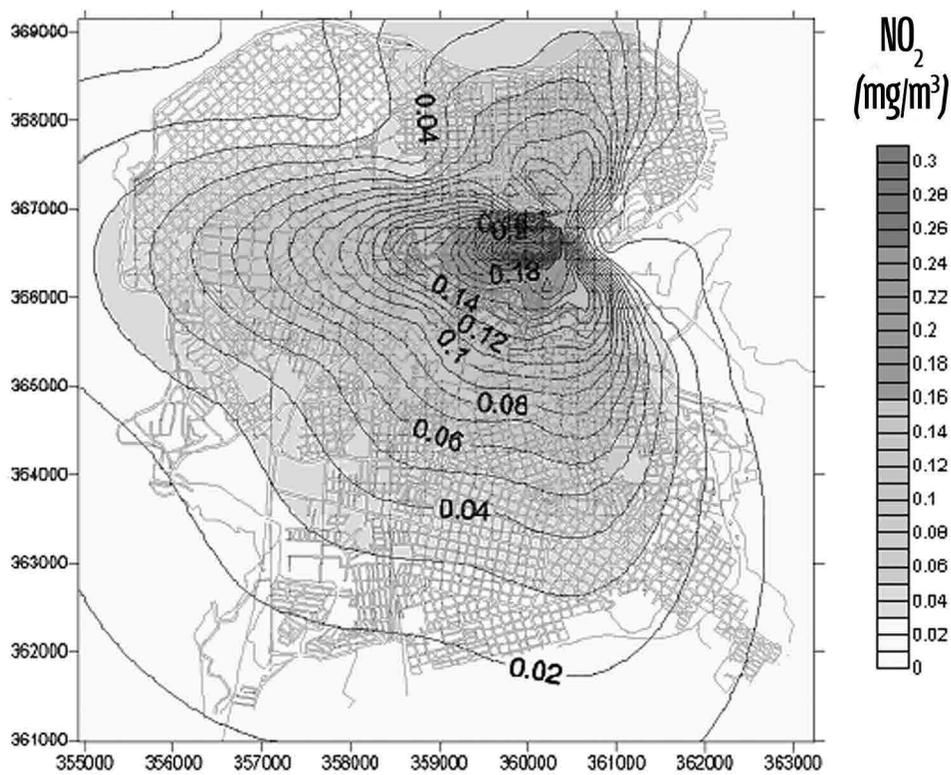


Fig. 2 Patrón de dispersión del NO₂ (2008-2009).

desde el SSW hasta el WNW respecto a la fuente. En particular, el SO_2 (Fig. 1) muestra en esas direcciones concentraciones entre $0,3 \text{ mgm}^{-3}$ y $0,8 \text{ mgm}^{-3}$, lo que incluye valores superiores a la correspondiente concentración máxima admisible (CMA) para 24 horas vigente en Cuba ($0,5 \text{ mgm}^{-3}$).

El patrón de dispersión obtenido para el NO_2 (Fig. 2) muestra la incidencia de concentraciones inferiores a las del SO_2 en el área de estudio; no obstante, llegan a superar la correspondiente CMA en puntos inmediatos a la fuente de emisión, con un valor máximo de $0,3 \text{ mgm}^{-3}$.

Las partículas (Fig. 3) no fueron una excepción, por cuanto su dispersión sobre la región abarca, incluso, mayor área que el SO_2 y el NO_2 ; no obstante, resalta en este caso la presencia sobre el área de estudio de un rango de concentraciones muy inferior a las de los gases, con valores mínimo y máximo de $0,01$ y $0,03 \text{ mgm}^{-3}$, respectivamente, ambos inferiores a la CMA ($0,1 \text{ mgm}^{-3}$).

Adicionales a las configuraciones principales mostradas en los gráficos, sobre áreas hacia la mitad norte del municipio, pueden apreciarse núcleos de concentraciones más bajas orientados en esa dirección. La aparición de esos penachos responde a la ocurrencia de vientos de región sur, generalmente de baja velocidad, que son una manifestación típica del terral en la zona, durante la madrugada y las primeras horas de mañana, como salida de las calmas nocturnas habituales. Igualmente, en el patrón general de dispersión obtenido se observa una zona de cero concentraciones hacia el NE del municipio.

En este resultado, lo más significativo es que las concentraciones observadas para los contaminantes involucrados fueron mucho más bajas que las obtenidas para la misma área por Sánchez *et al.* (2004), aunque el valor inferior de concentración del SO_2 actual es superior al determinado en el estudio anterior, como puede apreciarse en la tabla 3. La disminución general se debe a la supresión de importantes fuentes

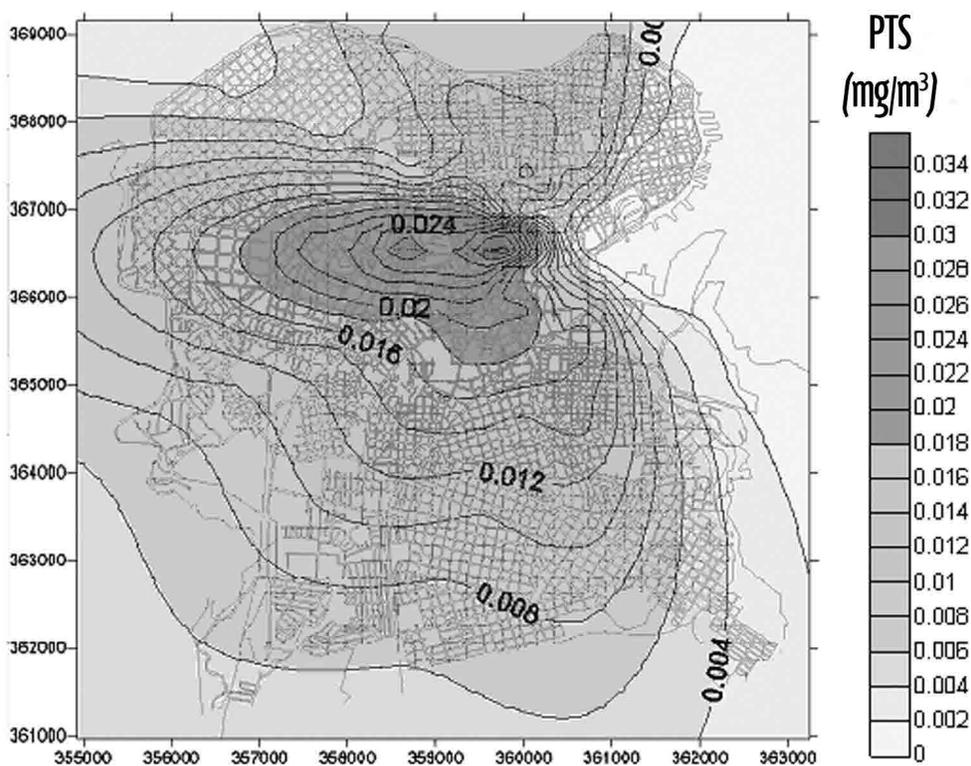


Fig. 3. Patrón de dispersión de PTS (2008-2009)

contaminantes a barlovento (termoeléctricas Frank País y Antonio Maceo), que incidían de modo negativo en la calidad del aire de la Habana Vieja. El aumento del nivel inferior para el SO₂ se relaciona con el contenido de azufre elevado que, como promedio, contiene el combustible utilizado.

Tabla 3
Cambios en los niveles de contaminación en la Habana Vieja

Contaminantes	Concentraciones (mg/m ³)	
	Período (2001-2003)	Período (2008-2009)
SO ₂	0.1 - 2.6	0.5 - 0.75
NO ₂	0.1 - 1.6	0.01 - 0.3
PTS	0.01 - 0.2	0.002 - 0.034

Comportamiento del asma bronquial en el municipio

En este trabajo se analizó la prevalencia del asma para los años 2008 y 2009 entre la población residente en la Habana Vieja, a partir de información sobre casos crónicos tomados en cada una de las policlínicas. En 2008, la mayor prevalencia del asma en el territorio se manifestó en individuos del grupo de 15 años a 24 años, del área de salud Tomás Romay (Fig. 4), con 1 697 casos, mientras que el mínimo estuvo asociado a los menores de 4 años, en el área Antonio Guiteras, con 33 casos.

Los resultados en 2009 evidencian alguna variación con respecto a los de 2008.

En la figura 5, los valores máximos de prevalencia se presentan en el grupo de 25 años a 64 años de edad, correspondientes a las policlínicas Romay y Aballí, con 1 125 y 1 108 casos, respectivamente. En el caso de Diego Tamayo, se tuvo el menor valor de prevalencia para ese año, nuevamente, asociado con el grupo de los menores de 4 años, esta vez con 25 casos, cifra inferior a la del año anterior.

De manera general, para ambos años, las áreas de salud Tomás Romay, Ángel A. Aballí y Robert M. Zulueta muestran las mayores prevalencias del asma bronquial;

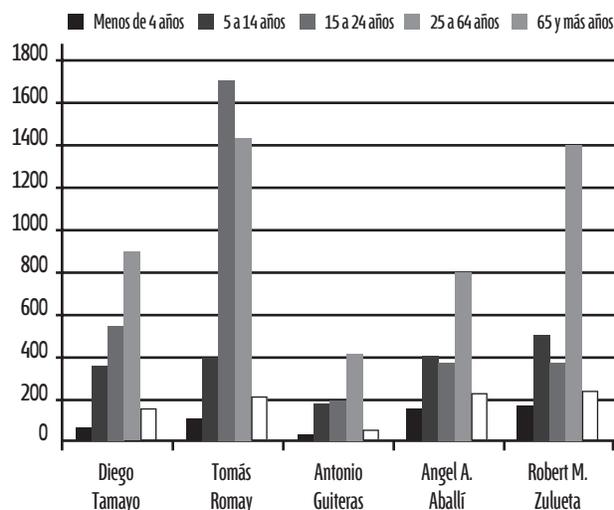


Fig. 4 Prevalencia del asma bronquial por áreas de salud. Habana Vieja (2008).

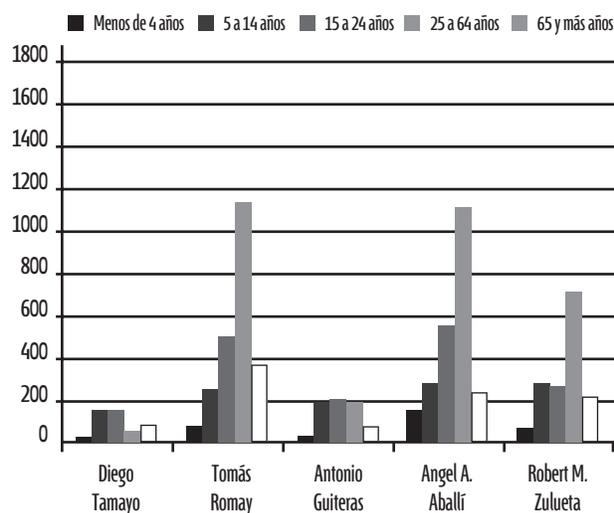


Fig. 5 Prevalencia del asma bronquial por áreas de salud. Habana Vieja (2009).

y los individuos con edades entre 15 y 64 años resultaron los más propensos a enfermarse. En cambio, los niveles más bajos corresponden al grupo de menores de 4 años en todas las áreas de salud. En este resultado, influye la mayor permanencia de los adultos en zonas exteriores del municipio, por razones de trabajo, estudio y otras. Los niños menores, evidentemente, pasan un mayor tiempo dentro de locales, elemento que atenúa el impacto de la enfermedad, dado el menor contacto con los agentes causales en ese medio.

Evaluación de la exposición

Las tablas 4 y 5 muestran la variación de los niveles de riesgo por exposición a concentraciones de SO₂ en áreas de influencia de la CTE.

En particular, los niños en el sector desde el SSE hasta el NNW del municipio, y a distancias entre 250 m y 1 000 m de la fuente, aparecen expuestos a los más altos niveles del riesgo asociado con el SO₂ originado en la CTE. Sin embargo, para ambos grupos, se obtuvieron niveles de riesgo bajos en la mitad norte del municipio, como puede apreciarse en las dos tablas.

Los CR calculados para NO₂, tanto para los adultos (Tabla 6), como para los niños (Tabla 7), fueron inferiores a los del SO₂ en todos los puntos de exposición, aunque con los máximos y mínimos localizados también hacia los sectores oeste y norte, respectivamente, evidenciando una respuesta a causas comunes.

Para las partículas (Tabla 8), solo en una cantidad ínfima de puntos el nivel de riesgo para adultos igua-

ló a la unidad, más bien en las localidades hacia el sector N-NE, y a distancias entre 1 000 m y 1 500 m de la CTE. En el caso de los niños (Tabla 9), se aprecia una amplia distribución de puntos con valor “1” para CR, lo que sugiere más una influencia de fuentes pequeñas dispersas por toda el área de estudio, que de la CTE por si sola. Es lógico pensar que tales fuentes estén asociadas con la actividad constructiva creciente de los últimos años en todo el municipio.

Caracterización de riesgos

Contaminación atmosférica

Como principal agente causal de los efectos para todas las zonas en el área de estudio se identificó al SO₂, cuyos CR mostraron valores más altos en las áreas de salud de las policlínicas Robert M. Zulueta y D. Tamayo, de manera que los individuos expuestos en esa parte del territorio enfrentan los mayores

Tabla 4. Cociente de Riesgo para adultos residentes en Habana Vieja (SO₂)

Distancia (m)	Adultos															
	n	nne	ne	ene	e	ese	se	sse	s	ssw	sw	wsw	w	wwnw	nw	nnw
0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	1.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
250	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	5.0	7.0	9.0	13.0	13.0	10.0	5.0	4.0
500	4.0	1.0	0.0	0.0				6.0	6.0	6.0	8.0	8.0	13.0	10.0	4.0	0.0
1000	4.0	0.0	0.0	0.0				3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	0.0	0.0	0.0
1500	2.0	0.0	0.0	0.0				2.0								
2000			0.0	0.0												

Tabla 5. Cociente de riesgo para niños residentes en Habana Vieja (SO₂)

Distancia (m)	Niños															
	n	nne	ne	ene	e	ese	se	sse	s	ssw	sw	wsw	w	wwnw	nw	nnw
0	0.4	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	3.5	7.0	7.0	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
250	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.6	17.6	24.6	31.7	45.8	45.8	35.2	17.6	14.1
500	14.1	3.5	0.0	0.0				21.1	21.1	21.1	28.2	28.2	45.8	35.2	14.1	0.0
1000	14.1	0.0	0.0	0.0				10.6	10.6	14.1	17.6	21.1	28.2	0.0	0.0	0.0
1500	7.0	0.0	0.0	0.0				7.0								
2000																

Tabla 6. Cociente de riesgo para adultos residentes en Habana Vieja, NO₂ (CTE)

Distancia (m)	Adultos															
	n	nne	ne	ene	e	ese	se	sse	s	ssw	sw	wsw	w	wwnw	nw	nnw
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0
250	1.7	0	0	0	0	0	0	3.5	3.5	4.3	4.6	0.3	5.5	5.2	4.6	4.6
500	2.3	0	0	0	0	0	0	3.5	3.5	3.7	4.6	4.9	5.8	4.6	4.6	
1000	1.4	0	0					3.5	3.5		2.9	4.9				
1500	1.2											3.5				

niveles de riesgo. Los CR determinados para áreas de las policlínicas A. Aballí, T. Romay y A. Guiteras, muestran un predominio del valor cero (0), indicando que, en la actualidad, el riesgo relativo asociado con la fuente de emisión considerada en el estudio es nulo o muy bajo.

Aunque el padecimiento de asma bronquial crónica, en general, no depende exclusivamente de la presencia de contaminantes en la atmósfera local, la manifestación de altas concentraciones del SO₂, en condiciones de poca dispersión atmosférica y elevada humedad del aire, fundamentalmente, ha demostrado capacidad para disparar las crisis entre los pacientes crónicos de esa enfermedad; puede decirse que los residentes del sector sur del municipio son expuestos, entonces, a un efecto de tipo adverso.

Los niveles de riesgo determinados para la porción norte del territorio son mínimos, a pesar de que ese

resultado se considera solo de carácter relativo. Sobre esta área se ha verificado la incidencia de emisiones procedentes de fuentes en la margen este de la bahía, no consideradas en este estudio, a las cuales se asocian altos niveles de riesgo para la salud. Además, la elevada cantidad de residentes en ese municipio condiciona la existencia de un potencial alto para que ocurran incrementos serios en las crisis de asma agudas, dadas las condiciones desfavorables para la ventilación natural en la zona.

Comportamiento del viento

En el estudio del comportamiento del viento para el período general 2008-2009, se obtuvo una alta ocurrencia de vientos del primero y el segundo cuadrantes, y se identificó el este como el rumbo predominante (Fig. 6). Asimismo, se elaboraron rosas de viento individuales para los períodos seco y

Tabla 7. Cociente de riesgo para niños residentes en Habana Vieja, NO₂ (CTE)

Distancia (m)	Niños															
	n	nne	ne	ene	e	ese	se	sse	s	ssw	sw	wsw	w	wwnw	nw	nnw
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
250	0.1	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.3	0.3	0.0	0.4	0.4	0.3	0.3
500	0.2	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	
1000	0.1	0	0					0.0	0.2	0.0	0.2	0.3				
1500	0.1											0.2				

Tabla 8. Cociente de riesgo para adultos residentes en Habana Vieja, PST (CTE)

Distancia (m)	Adultos															
	n	nne	ne	ene	e	ese	se	sse	s	ssw	sw	wsw	w	wwnw	nw	nnw
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1000	1	1	1	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0
1500	1	1						0	0	0		0				

Tabla 9. Cociente de riesgo para niños residentes en Habana Vieja, PST (CTE)

Distancia (m)	Niños															
	n	nne	ne	ene	e	ese	se	sse	s	ssw	sw	wsw	w	wwnw	nw	nnw
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
250	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
500	1	1	1	1				0	1	1	1	0	1	1	1	1
1000	1	1	1	1				0	0	0	0	0	1	1	1	1
1500	1	1						0	0			0	1			

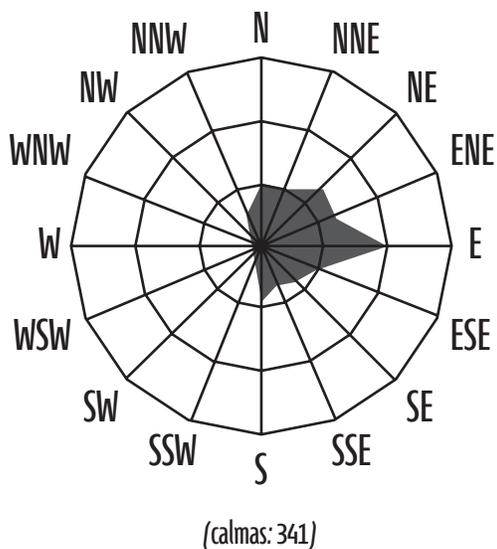


Fig. 6 Rosa de viento bianual (2008-2009).

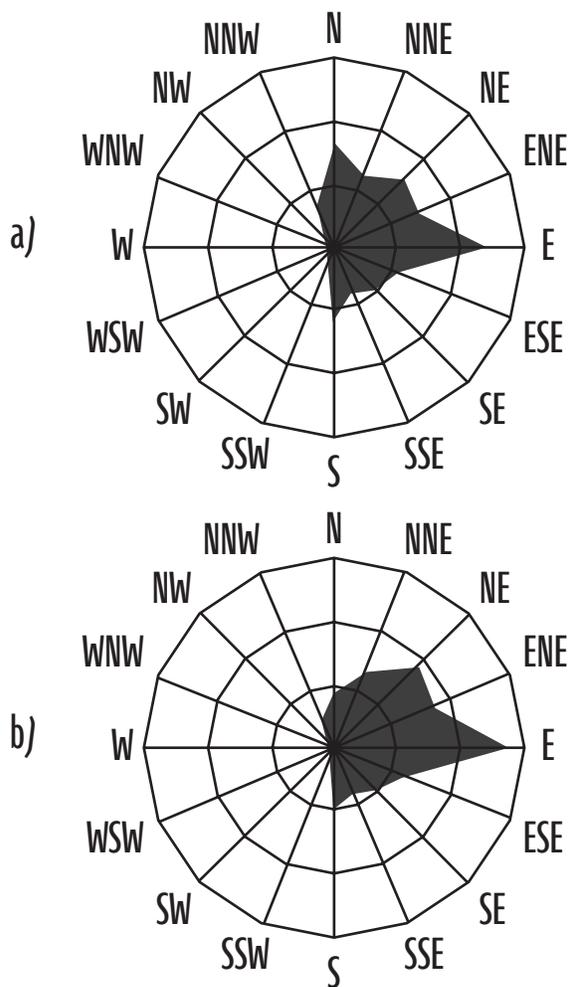


Fig. 7 Rosas de viento, Casablanca (2008-2009). Períodos seco (a) y lluvioso (b).

lluvioso (2008-2009), las cuales se muestran en la figura 7.

En ambos períodos se observa que el viento predominante es del este, y la mayor ocurrencia se encuentra en el primer y el segundo cuadrantes; sin embargo, en el período seco, se muestra un predominancia mayor de los vientos del norte y el sur, que en el período lluvioso.

Este es un resultado importante, puesto que se evidencia en todos los casos la predominancia de los vientos del este; donde, precisamente, están ubicadas las principales fuentes de contaminación atmosférica que inciden en el municipio.

La figura 8 presenta la frecuencia de ocurrencia de calmas. Los valores máximos aparecen en los meses comprendidos en el período lluvioso, con la excepción de mayo y julio, cuando la ocurrencia de calmas se comportó por debajo de la media anual estimada para el período de estudio (5,8 %). El máximo absoluto aparece en septiembre (10,0 %). En los meses del período poco lluvioso se observan las menores frecuencias de ocurrencia, de manera que el valor mínimo de los casos se constata en diciembre (3,0 %).

Es importante destacar que en trabajos realizados antes en esa misma área (Sánchez *et al.*, 2003),

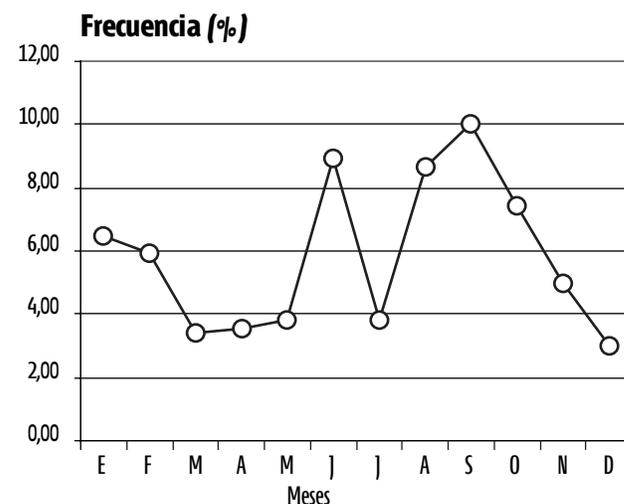


Fig. 8. Frecuencia de calmas. Período 2008-2009.

la evaluación del viento aportó resultados similares a los del presente estudio, los cuales fueron identificados como un factor importante en el incremento del riesgo para la salud por el estancamiento de contaminantes en la atmósfera superficial.

Finalmente, en las condiciones descritas, a pesar de que los efectos relacionados con los contaminantes estudiados en este trabajo no califican entre los más graves, para la parte sur del municipio existe un riesgo moderado de que se produzcan impactos negativos importantes, asociados fundamentalmente con niveles de concentración de SO₂ capaces de provocar picos en la atención médica y la imposibilidad de realizar actividades normales de las personas, entre otras consecuencias.

Conclusiones

1. Se ratifica el sector desde el SSW hasta el NNW como el más afectado, en la actualidad, por las emisiones desde la CTE, a lo cual contribuye notablemente el sistema de vientos imperante en la región circundante al área de estudio.
2. Los niños, en todos los casos, enfrentan los mayores riesgos para su salud, por la exposición crónica a concentraciones de contaminantes (principalmente de SO₂) en sus áreas de residencia.
3. Los niveles de concentración actuales para los tres contaminantes son inferiores a los determinados en estudios precedentes, gracias a la supresión de fuentes contaminantes importantes en la región, lo cual implica una evolución positiva en las características de los riesgos para la salud.
4. Se ratifica al SO₂ como el contaminante cuya presencia es más significativa en el área de estudio, fundamentalmente en la mitad sur del municipio, asociada con emisiones desde la CTE.
5. El comportamiento de las calmas superficiales favorece notablemente el desarrollo de procesos de estancamiento y, con ello, un nivel de riesgo elevado

para la salud de los residentes en el municipio.

6. Las características de los contaminantes estudiados en el presente trabajo y las condiciones específicas existentes, pueden provocar impactos negativos importantes en la parte sur del municipio.
7. En el municipio de la Habana Vieja, la metodología aplicada demostró ser una herramienta útil en la caracterización de la distribución espacial de riesgos no cancerígenos para la salud por la exposición a los contaminantes atmosféricos.

Bibliografía

- ADAMS, W. C. (1993): Measurement of breathing rate and volume in tourinely performed activities: Final Report, California Air Sources Board (CARB). Contract No. A033-205, June 1993
- ÁLVAREZ O. (1991): “Diagnostico y pronóstico de la contaminación del aire por SO₂ y H₂S. Modelación con consideraciones de terreno plano” (doctora en Ciencias Físico-Geográficas, Universidad de La Habana).
- ÁLVAREZ Y ÁLVAREZ, R., L. ÁLVAREZ (2000): “El efecto de la acumulación y su influencia en el patrón de dispersión de contaminantes”, *Revista Brasileña de Meteorología*, vol.15, no.1, pp.:103-111.
- BERLYAND, M. E. (1975): *Sobrienmienniie problieiny atmosfiernoi diffuzii y zagriasnieniya atmosferi*, Hidrometeoizdat Leningrad.
- EL-SAMARA G. H. AND M. S. ABDEL SALAM (1984): “Environmental pollution impacts of industrial activities in Egypt”, *Egyptian Journal of Occupational Medicine*, vol. 8, no. 114.
- “Factores de Emisiones y AP 42”, *Compilación de Factores de emisión de contaminantes del aire*, EPA, 1972.
- FUSTEL, E. A. Y T. MARTÍNEZ (2005): *Evaluación en cinco ciudades españolas del impacto en la salud de la contaminación atmosférica, por partículas*, *Revista Española de Salud Publica*, vol. 79, no. 002.

- KORC, MARCELO E. (1988): Conceptos básicos sobre meteorología de la contaminación del aire: Manual de autoinstrucción adaptado del manual de autoinstrucción "SI: 049 Basic Air pollution meteorology course" del Instituto de Capacitación en la Contaminación del Aire (APTI) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US) EPA, 2da. ed.
- LAYTON, D. W. (1993): "Metabolically consistent breathing rates for use in dose assessments", *Health Phys.*, vol. 64, no. 1, pp.: 23-36.
- LÓPEZ C. (1984): Factores Meteorológicos de la Contaminación Regional del Aire en Cuba, Editorial Academia, La Habana, p. 30.
- MARTÍNEZ, C. L. (2001): *Valores medios mensuales de algunas variables meteorológicas y rosa de los vientos de las provincias habaneras, Matanzas, Holguín, Santiago de Cuba, Guantánamo e Isla de la Juventud*, Instituto de Meteorología, Agencia del Medio Ambiente, CITMA, Ciudad de La Habana, p. 181.
- NAKAI, S., NITTA H. (1995): "Respiratory health associated with exposure to automobile exhaust. II. Personal NO₂ exposure levels according to distance from the roadside", *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, vol. 5, pp.: 125-136.
- NC 93-02-104 (1986): *Atmósfera, Reglas para la vigilancia de la calidad del aire. Norma Cubana*, NC 93-02-104, CEN, La Habana.
- NC 93-02-102 (1987): *Atmósfera, Términos y Definiciones. Norma Cubana*, NC 93-02-102 (1987), CEN, La Habana.
- NITTA, H., SATO, T. (1993): "Respiratory health associated with exposure to automobile exhaust. I. Results of cross-sectional studies in 1979, 1982, and 1983", *Archives of Environmental Health*, vol.48, pp.: 53-58.
- ONO, M., NITTA H. (1990): "Epidemiological studies of air pollution and health effects in area near roadways with heavy traffic in Tokyo", *Japanese Journal of Public Health*, vol. 37, pp.: 321-332.
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (2003): *Metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados*.
- SÁNCHEZ, P., CUESTA O. (1992): "Smog en la ciudad de La Habana. Situación meteorológica asociada", *Revista Cubana de Meteorología*, vol. 5, no. 1, pp.: 3-8.
- SÁNCHEZ, P. (2001): "Evaluación de la presencia del SO₂ en la atmósfera en Cuba, sus causas y efectos potenciales" (máster en Impacto Ambiental, Universidad de la Habana, 2001).
- SÁNCHEZ, P., A. WALLO, A. ROQUE, O. CUESTA, A. COLLAZO Y E. ECHEVARRIA (2003): Principales características de la calidad del aire en el municipio de la Habana Vieja. Proyecto 003079 para la evaluación del medio ambiente atmosférico en el municipio de la Habana Vieja y su repercusión en la salud, AMA, CITMA.
- USEPA, (1991): Risk Assessment for Toxic Air Pollutants: A Citizen's Guide. EPA 450/3-90-024, March.
- WHO (1999a): "Air Quality Guidelines for Europe: WHO Regional Publications", European Series, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen [in press].
- (Octubre 4, 2002). Contaminación Ambiental, Santo Domingo, República Dominicana UASD.